



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
SECADOR POR FLUIDIZACIÓN PARA GRANOS DE CAFÉ**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**PATRICIO ALEJANDRO BORJA ALVARADO**

**DIRECTOR: ING. ALEXY VINUEZA**

**Quito, Junio 2016**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016  
Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo **BORJA ALVARADO PATRICIO ALEJANDRO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

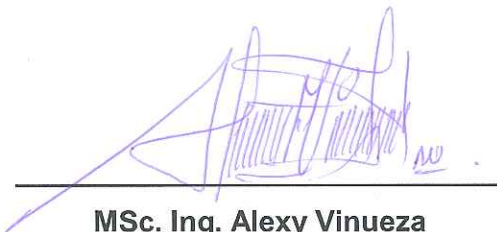


**Patricio Borja**

**CI: 1717874372**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño Automatización y Construcción de un secador por Fluidización Para Granos de Café**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Patricio Borja**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



---

**MSc. Ing. Alexy Vinueza**

**CI: 1714711056**

## DEDICATORIA

A mis padres y a mi hermana quienes han sido mi apoyo incondicional toda la vida.

A mi novia Alexandra quien me apoyo y alentó para continuar, y siempre busco los modos para ayudarme.

A mis amigos/amigas que han sido fundamental en momentos apremiantes y una fuente de energía para seguir adelante.

A mis maestros quienes nunca se dieron por vencidos al enseñarme y siempre tendieron una mano, por ello más que maestros y ejemplos de vida les considero unos grandes amigos/as.

Al jurado calificador que estudiaron mi tesis y la aprobaron.

A todos y cada uno de las personas que aportaron con un granito de sabiduría para la conclusión de esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

## FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

### PROYECTO DE TITULACIÓN



DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1717874372
APELLIDO Y NOMBRES:	BORJA ALVARADO PATRICIO ALEJANDRO
DIRECCIÓN:	AV. CARLOS MANTILLA Y CADIZ
EMAIL:	<a href="mailto:patoborja9@gmail.com">patoborja9@gmail.com</a>
TELÉFONO FIJO:	022031323
TELÉFONO MOVIL:	0996646607

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR POR FLUIDIZACIÓN PARA GRANOS DE CAFÉ
AUTOR O AUTORES:	BORJA ALVARADO PATRICIO ALEJANDRO
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	2016/06/27
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	MSC. ING. ALEXY VINUEZA
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input checked="" type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECATRÓNICO
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El proyecto tiene como finalidad el diseño y construcción de un secador de granos de café que funcione con el método de fluidización, para llevarlo a cabo fue necesario indagar en los conocimientos y experiencias de las personas afines al comercio y al cultivo del producto, con la información recopilada y la metodología de diseño mecatrónico

aplicado, dio como resultado los fundamentos teóricos necesarios para realizar el respectivo modelamiento mediante programas de computadoras, y que posteriormente este último sirvió para la construcción de la máquina. El prototipo se lo ha diseño bajo la metodología de diseño mecatrónico la cual dio paso a un diseño concurrente donde destaca el diseño mecánico y el control para el usuario. El modelo se lo construyó con partes fáciles de adquirir a un costo razonable, el equipo depende de un voltaje de 220 [V] trifásica, pues el blower es industrial. Las pruebas fueron realizadas con muestras de 1 Kg donde se concluyó que la máquina al operar a 70°C tiene una eficiencia mucho más alta que cuando trabajó a 60°C, ambas temperaturas son las ideales para no dañar el grano y tampoco dejarlo a medio procesar, en otras palabras son las temperaturas ideales para el secado de granos.

**PALABRAS CLAVES:**

**Secador, Café, Fluidización.  
Blower, Ventiladores**

ABSTRACT:

The project aims to design and construction of a dryer coffee beans work with the method of fluidization, to carry it out was necessary to investigate the knowledge and experiences related to trade people and the culture of the product, with the information collected and applied mechatronic design methodology resulted in the theoretical foundations necessary to perform the respective modeling using computer programs, and subsequently the latter served for the construction of the machine. The prototype has design under mechatronic design methodology which led to a concurrent design which highlights the mechanical design and control for the user. The model is built it with easy parts to purchase at a reasonable cost, the team depends on a voltage of 220 [V] phase, as the blower is industrial. The tests were carried out on samples of 1 kg which concluded that the machine to operate at 70 ° C has a much higher efficiency than when he worked at 60 ° C, both temperatures are ideal to avoid damaging the grain and not leave half process, in other words are ideal temperatures for drying grains.



<b>KEYWORDS</b>	Hairdryer , Coffee , Aeration . Blower , Fans

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f:

  
BORJA ALVARADO PATRICIO ALEJANDRO

1717874372

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA



**DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **BORJA ALVARADO PATRICIO ALEJANDRO**, CI 1717874372 autor/a del proyecto titulado: **diseño, automatización y construcción de un secador por fluidización para granos de Café** previo a la obtención del título de **INGENIERO MEACTRONICO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 27 de Junio del 2016

f:

  
BORJA ALVARADO PATRICIO ALEJANDRO

1717874372

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN.....	vii
i	
ABSTRACT.....	ix
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
2.1 DATOS Y CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL GRANO DE CAFÉ 3	
2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL CAFÉ EN EL ECUADOR _____	3
2.1.2 EL CAFÉ COMO FUENTE DE TRABAJO. _____	3
2.2 TIPOS DE GRANOS DE CAFÉ MÁS COMUNES.....	4
2.3 VENTAJAS COMPARATIVAS Y COMPETITIVAS DEL GRANO DE CAFÉ DE ECUADOR.....	4
2.4 DATOS GENERALES.....	5
2.5 DIMENSIONES DEL GRANO DE CAFÉ.....	5
2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DEL GRANO DE CAFÉ.....	6
2.7 CONCEPTO DEL SECADO.....	7
2.7.1 PROCEDIMIENTOS ANTES DEL SECADO.....	7
2.7.2 VARIABLES A PRESENTARSE EN EL SECADO.....	7
2.8 PROCESO DE SECADO.....	9
2.8.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN:.....	9
2.8.2 TRANSFERENCIA DE MASA EN EL SECADO.....	9
2.9 PROPORCIONALIDAD EXISTENTE ENTRE LA HUMEDAD Y EL GRANO SECO.....	10
2.10 DENSIDAD APARENTE ( $\rho_{ap}$ ).....	11
2.11 TÉCNICA DE SECADO DE GRANOS.....	11
2.12 TEMPERATURA DE SECADO DEL CAFÉ INDUSTRIALMENTE	12
2.13 TIPOS DE SECADORES.....	13
2.13.1 SECADORES ROTATIVOS.....	13
2.13.2 SECADORES DE RODILLO.....	14

2.13.3 SECADORES DE COMPARTIMIENTOS, BANDEJAS O CABINA.....	14
2.13.4 SECADORES DE CINTAS TRANSPORTADORAS.....	15
2.13.5 SECADORES DE LECHO FLUIDIZADO.....	15
2.14 PROPIEDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA MÁQUINA.....	17
2.14.1 CONDUCCIÓN.....	17
2.14.2 CONVECCIÓN.....	18
2.14.3 RADIACIÓN.....	18
2.15 VENTILADORES INDUSTRIALES O BLOWERS .....	19
2.16 CÁLCULO DE LA COLUMNA .....	21
2.17 CÁLCULO DE LA VIGA.....	21
2.18 CÁMARA DE SECADO .....	23
2.19 CÁLCULO DE POTENCIA .....	23
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA .....	25
3.2 REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA.....	26
3.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....	27
3.3.1 CASA DE CALIDAD.....	27
3.3.2 CRITERIOS PONDERADOS.....	29
3.3.3 MÉTODO DE DIAGRAMA MORFOLÓGICO.....	33
3.4 CÁLCULOS NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO. ....	34
<b>4. DISEÑO.....</b>	<b>37</b>
4.1 DISEÑO ELÉCTRICO .....	37
4.1.1 SELECCIÓN DEL BLOWER.....	37
4.1.2 SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA.....	38
4.1.3 CÁLCULO DE POTENCIA.....	41
4.1.4 CONSUMO TOTAL ELÉCTRICO.....	41
4.2 DISEÑO DE CONTROL .....	42
4.2.1 SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO.....	42
4.2.2 DIAGRAMA DE CONTROL DE LA MAQUINA.....	43

4.2.3	PARÁMETROS ELECTRICOS Y ELECTRÓNICOS, DISEÑO DE CONTROL.....	45
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.....	46
4.3.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	46
4.3.2	DISEÑO A COLUMNA.....	46
4.3.3	DISEÑO DE LA VIGA.....	51
4.3.4	DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DE SECADO.....	54
4.3.5	MODELADO EN PROGRAMAS CAD.....	62
4.4	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLADO DEL SECADOR DE GRANOS DE CAFÉ POR FLUIDIZACIÓN .....	64
5.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>72</b>
5.1	ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO.....	72
5.2	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	83
6.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Dimensión de las Plantas de Café .....	4
<b>Figura 2.</b> Secador rotativo .....	13
<b>Figura 3.</b> Secador de Rodillo .....	14
<b>Figura 4.</b> Secador de Bandeja.....	14
<b>Figura 5.</b> Secador de cinta transportadora .....	15
<b>Figura 6.</b> Secador de lecho fluidizado .....	17
<b>Figura 7.</b> Blowers axiales .....	19
<b>Figura 8.</b> Blowers centrífugos.....	20
<b>Figura 9.</b> Columna.....	21
<b>Figura 10.</b> Viga.....	22
<b>Figura 11.</b> Metodología Mecatrónica .....	25
<b>Figura 12.</b> Material VS Temperatura .....	39
<b>Figura 13.</b> Circuito de Potencia .....	43
<b>Figura 14.</b> Circuito de control .....	44
<b>Figura 15.</b> Circuito On/Off .....	44
<b>Figura 16.</b> Diagrama del controlador de temperatura.....	45
<b>Figura 17.</b> Pandeo de Columna .....	47
<b>Figura 18.</b> Tipos de Relación de Esbeltez.....	48
<b>Figura 19.</b> Tubería cuadrada catálogo IPAC.....	50
<b>Figura 20.</b> Datos de Viga .....	52
<b>Figura 21.</b> Diagrama Fuerza – Momentos.....	53
<b>Figura 22.</b> Gráfica Velocidad vs Presión en el lecho fluidizado.....	58
<b>Figura 23.</b> Modelado en SolidWorks .....	63
<b>Figura 24.</b> Cámara de calefacción .....	64
<b>Figura 25.</b> Fresado neplo salida del blower .....	65
<b>Figura 26.</b> Fresado de la cámara de calefacción .....	65
<b>Figura 27.</b> Ensamblaje blower y cámara de calefacción .....	66
<b>Figura 28.</b> Tipos de Electrodo s .....	67
<b>Figura 29.</b> Armado de la estructura base .....	67

<b>Figura 30.</b> Armado de la estructura base 2 .....	68
<b>Figura 31.</b> Ensamble base, blower y cámara de calefacción .....	68
<b>Figura 32.</b> Fresado de la torre de secado .....	69
<b>Figura 33.</b> Ensamblado de la torre de secado .....	69
<b>Figura 34.</b> Secador de Lecho Fluidizado.....	70
<b>Figura 35.</b> Flujograma de operación .....	71
<b>Figura 36.</b> Comparación de alturas a 60 °C .....	73
<b>Figura 37.</b> Comparación de alturas a 70 °C .....	74
<b>Figura 38.</b> Comparación de temperaturas a 60 °C.....	75
<b>Figura 39.</b> Comparación de temperaturas a 70 °C.....	76
<b>Figura 40.</b> Comparación de pesos 60 °C .....	77
<b>Figura 41.</b> Comparación de pesos 70 °C .....	78
<b>Figura 42.</b> Comparación de humedad relativa a 60 °C .....	79
<b>Figura 43.</b> Comparación de humedad relativa a 70 °C .....	80
<b>Figura 44.</b> Comparación de eficiencia a 60 °C .....	81
<b>Figura 45.</b> Comparación de eficiencia a 70 °C .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Datos generales del Café .....	5
<b>Tabla 2.</b> Dimensiones del Grano de Café.....	5
<b>Tabla 3.</b> Propiedades físicas del Café .....	6
<b>Tabla 4.</b> Variables en el secado del café.....	8
<b>Tabla 5.</b> Requerimientos de la máquina.....	27
<b>Tabla 6.</b> Casa de calidad .....	28
<b>Tabla 7.</b> Ponderación criterios ponderados .....	29
<b>Tabla 8.</b> Criterios ponderados .....	30
<b>Tabla 9.</b> Criterios ponderados, selección de alternativas .....	31
<b>Tabla 10.</b> Criterios ponderados, selección por prioridad .....	32
<b>Tabla 11.</b> Diagrama Morfológico.....	33
<b>Tabla 12</b> Multipuntos .....	38
<b>Tabla 13</b> Tabla de coeficiente de resistividad (Ct).....	40
<b>Tabla 14</b> Detalles de pesos de las piezas de la máquina.....	47
<b>Tabla 15.</b> Parámetros del Café.....	55
<b>Tabla 16.</b> Parámetros del Aire .....	56
<b>Tabla 17</b> Coeficientes de transferencia comunes.....	60
<b>Tabla 18</b> Conductividad térmica del aire .....	61
<b>Tabla 19</b> Comparación de alturas a 60 °C.....	72
<b>Tabla 20</b> Comparación de alturas a 70 °C.....	73
<b>Tabla 21</b> Comparación de temperaturas a 60 °C .....	74
<b>Tabla 22</b> Comparación de temperaturas a 70 °C .....	75
<b>Tabla 23</b> Comparación de pesos a 60 °C.....	76
<b>Tabla 24</b> Comparación de pesos a 70 °C.....	77
<b>Tabla 25</b> Comparación de humedad relativa a 60°C.....	78
<b>Tabla 26</b> Comparación de humedad relativa a 70°C.....	79
<b>Tabla 27</b> Comparación de eficiencia a 60 °C. ....	80
<b>Tabla 28</b> Comparación de eficiencia a 70 °C. ....	81
<b>Tabla 29.</b> Análisis económico.....	84



## ÍNDICE DE ANEXOS

	PAGINA
ANEXO 1.....	92
PLANOS.....	92

## RESUMEN

El proyecto tiene como finalidad el diseño y construcción de un secador de granos de café que funcione con el método de fluidización, para llevarlo a cabo fue necesario indagar en los conocimientos y experiencias de las personas afines al comercio y al cultivo del producto, con la información recopilada y la metodología de diseño mecatrónico aplicado, dio como resultado los fundamentos teóricos necesarios para realizar el respectivo modelamiento mediante programas de computadoras, y que posteriormente este último sirvió para la construcción de la máquina. El prototipo se lo ha diseño bajo la metodología de diseño mecatrónico la cual dio paso a un diseño concurrente donde destaca el diseño mecánico y el control para el usuario. El modelo se lo construyó con partes fáciles de adquirir a un costo razonable, el equipo depende de un voltaje de 220 [V] trifásica, pues el blower es industrial. Las pruebas fueron realizadas con muestras de 1 Kg donde se concluyó que la máquina al operar a 70°C tiene una eficiencia mucho más alta que cuando trabajó a 60°C, ambas temperaturas son las ideales para no dañar el grano y tampoco dejarlo a medio procesar, en otras palabras son las temperaturas ideales para el secado de granos.

## ABSTRACT

The project aims to design and construction of a dryer coffee beans work with the method of fluidization, to carry it out was necessary to investigate the knowledge and experiences related to trade people and the culture of the product, with the information collected and applied mechatronic design methodology resulted in the theoretical foundations necessary to perform the respective modeling using computer programs, and subsequently the latter served for the construction of the machine. The prototype has design under mechatronic design methodology which led to a concurrent design which highlights the mechanical design and control for the user. The model is built it with easy parts to purchase at a reasonable cost, the team depends on a voltage of 220 [V] phase, as the blower is industrial. The tests were carried out on samples of 1 kg which concluded that the machine to operate at 70 ° C has a much higher efficiency than when he worked at 60 ° C, both temperatures are ideal to avoid damaging the grain and not leave half process, in other words are ideal temperatures for drying grains.

## **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años atrás, nuestros antepasados usaban el método de secar los granos alimenticios como una alternativa a conservar por un periodo mucho mayor de tiempo las propiedades nutritivas de las frutas, carnes y con mucha mayor razón la de los granos.

En la actualidad el proceso de secado de los granos alimenticios es muy importante pues el contenido de humedad del grano es una particularidad que determina el tiempo de consumo del mismo y así no preocuparse mientras se encuentra almacenado.

El secado de los granos alimenticios también se hace con el propósito de inhibir la germinación de las semillas, reducir el contenido de partículas de agua hasta el punto de lograr evitar el crecimiento de hongos y así de esta forma lograr prolongar su deterioro. Hoy en día también es considerado el secado de granos parte fundamental de la logística, pues el alimento seco necesita menos cuidado hasta cierto punto, lo que se quiere decir es que se evita los procesos de refrigeración o de conservadores, también vale recalcar que ocupa menos espacio físico o necesita menos espacio físico tanto como en un traslado como en un almacenaje.

El concepto más acertado y mayormente cercano a la realidad sería el siguiente:

*"Es el método universal de acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el aire ambiente, de tal forma que conserve su aspecto, sus características de alimentos, su calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla". (Agricultura, 1978).*

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar, automatizar y construir un secador por fluidización para granos de café.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diseño del sistema mecánico de ingreso de la materia prima y del sistema mecánico de proceso.
2. Diseño del sistema de control de temperatura.
3. Diseño de la interfaz hombre máquina (HMI).
4. Construcción y validación del prototipo.

## **ALCANCE**

Se va a construir el secador por fluidización para granos donde tendrá como prioridad secar los mismos, las dimensiones estimadas del prototipo serán de 1 m de largo, 1,50 m de altura y 0,80 m de ancho aproximadamente.

Las temperaturas que se empleará en el centro de la cámara de secado oscilarán entre los 35°C a los 70°C, que son temperaturas óptimas de secado del grano de café, donde todavía conserva casi en su totalidad las propiedades particulares.

La máquina deberá disminuir el tiempo de secado, lo que da como resultado la fabricación de producto terminado, listo y apto para su consumo en un periodo más corto.

El funcionamiento adecuado de la máquina junto con un óptimo mantenimiento permitirá alargar la vida útil de la misma.

Dicha máquina para secar granos se implementará en un cafetal artesanal localizado en la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia Nanegal, en la cabecera parroquial Nanegal.

## **2. MARCO TEÓRICO**

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 DATOS Y CARACTERISTICAS RELEVANTES DEL GRANO DE CAFÉ**

#### **2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL CAFÉ EN EL ECUADOR**

Históricamente, la zona de Jipijapa, en la provincia de Manabí, ha sido uno de los lugares preponderantes en los cuales se ha cultivado Café desde 1860.

Transcurrido varios años hasta el año de 1876 el cultivo de este producto se encontraba en una etapa incipiente.

Al abrirse el Ecuador al comercio mundial se dio un impulso significativo a las pequeñas plantaciones, alcanzando un cierto grado de desarrollo, hasta constituirse el café en un producto de exportación importante para la economía de la nación. Este fenómeno se dio casi a la par con el cultivo del cacao.

#### **2.1.2 EL CAFÉ COMO FUENTE DE TRABAJO.**

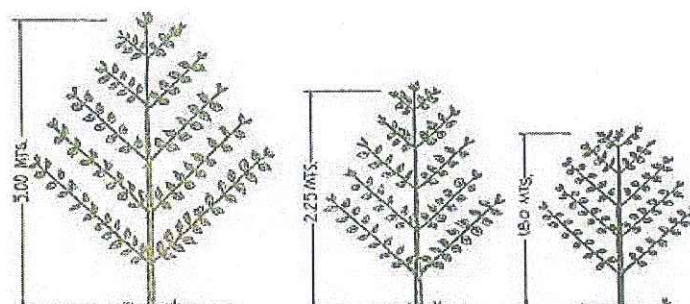
El cultivo, producción, comercialización, industrialización y exportación del café, son sectores importantes para la economía del Ecuador, por lo que es necesario que los sectores privado y público trabajen mancomunadamente, a fin de lograr un desarrollo sostenido y alcanzar un mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de los agricultores dedicados a esta actividad, así como el fortalecimiento y ampliación de las exportaciones y el incremento del aporte en divisas para la economía ecuatoriana.

El café ecuatoriano se exporta actualmente a cerca de cincuenta países, entre los cuales se encuentran Estados Unidos, España, Chile, Alemania, Italia, Francia, Polonia, Japón, Bélgica, Canadá, Países Bajos, Argentina, Uruguay y Suiza.



## 2.2 TIPOS DE GRANOS DE CAFÉ MÁS COMUNES

Existen varios tipos de plantas de cafés y todo radica fundamentalmente en el entorno donde fueron sembradas, este último puede influir notablemente en el desarrollo y crecimiento de las plantas de café, sin embargo por comercializar la planta se ha establecido tres tamaños. La Figura 1, se puede observar con mayor claridad las dimensiones de los arbustos.



**Figura 1.** Dimensión de las Plantas de Café  
(D&B, 1836)

Existen en el Ecuador dos tipos de cafés, donde destacan:

### 1.- El Arábica o Convencional

Es la variedad que abarca con el 70% del mercado mundial, se da en zonas de altitud considerable es de excelente calidad, tiene buen olor y acidez por lo mismo pueden llegar a ser considerado entre los mejores pagados por su aroma y sabor.

### 2.- El Robusta o Canhepora

Es la variedad que ocupa el 30% restante del mercado, tiene alto nivel de cafeína siendo su calidad muy inferior al anterior ítem expuesto.

## 2.3 VENTAJAS COMPARATIVAS Y COMPETITIVAS DEL GRANO DE CAFÉ DE ECUADOR

- Cultivos de los 3 tipos de café: Arábigo lavado, Arábigo natural y Robusta.
- Precios competitivos a nivel mundial.

- Disponibilidad de producción durante la mayor parte del año.
- Gran variedad: Verde, tostado, tostado y molido, spray-dried, aglomerado y freeze-dried.

## 2.4 DATOS GENERALES

En la Tabla 1 se da a conocer generalidades del grano de Café.

**Tabla 1. Datos generales del Café**

<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	Coffea arabica L., Coffea canephora Pierre, etc
<b>NOMBRE VULGAR:</b>	Cafeto, planta del café
<b>FAMILIA:</b>	Rubiáceas
<b>HÁBITAT:</b>	Arabia, regiones cálidas de América y África
<b>ALCALOIDES:</b>	Cafeína
<b>PARTES ACTIVAS:</b>	Las hojas y las semillas

(Botanical-online, 1999-2015)

## 2.5 DIMENSIONES DEL GRANO DE CAFÉ

El grano de café, tiene mucha variación de dimensión y peso, para tratar de clasificar el café por su tamaño se usa industrialmente máquinas clasificadoras las mismas que usan cribas, estas últimas son láminas muy finas con pequeñas perforaciones las mismas que sirven, por así decirlo cerniendo el café según su tamaño.

**Tabla 2. Dimensiones del Grano de Café**

NÚMERO DE CRIBAS	DIMENSIONES ISO (MM)
10	4.00
12	4.75
13	5.00
14	5.60
15	6.00
16	6.30
17	6.70
18	7.10
19	7.50
20	8.00

(Internacional, 2011)

La Tabla 2 muestra los diámetros de las cribas y sus respectivas equivalencias hacia los granos de café en el sistema internacional.

## 2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DEL GRANO DE CAFÉ

En Tabla 3 se denota los diferentes tipos de cualidades propias del grano de café, así como la diferencia que puede existir entre los granos de buena calidad y regulares para cada uno de los parámetros que a continuación se encuentran descritos.

**Tabla 3.** Propiedades físicas del Café

	Urbe (1977)	Presente estudio (2006)	
		Café Seleccionado	Café sin seleccionar
<b>Densidad aparente (kg m<sup>-3</sup>)</b>			
Fruto	600	621,57	616,50
Pulpa fresca	270	299,74	298,20
Grano de café baba	300	326,71	303,40
Grano de café lavado	650	701,87	693,66
Grano de café escurrido	s.d.	687,17	678,31
Grano de café seco de agua	520	s.d.	s.d.
Grano de café pergamino	380	391,44	385,75
Grano de café almendra	680	709,99	707,31
<b>Peso (g)</b>			
Un fruto	2,00	1,99	1,85
Un grano de café baba	s.d.	0,57	0,55
Un grano de café lavado	s.d.	0,40	0,39
Un grano de café escurrido	s.d.	0,39	0,38
Un grano de café pergamino	0,22	0,21	0,21
Un grano de café almendra	0,18	0,18	0,18
<b>Diámetros (mm)</b>			
<b>Diámetro ecuatorial</b>			
Fruto	s.d.	14,37	13,99
Grano de café baba	s.d.	9,24	9,02
Grano de café lavado	s.d.	8,70	8,63
Grano de café escurrido	s.d.	8,80	8,64
Grano de café pergamino	s.d.	8,55	8,43
Grano de café almendra	s.d.	7,11	7,04
<b>Diámetro polar</b>			
Fruto	s.d.	15,96	15,77
Grano de café baba	s.d.	12,72	12,35
Grano de café lavado	s.d.	12,31	12,22
Grano de café escurrido	s.d.	12,38	12,03
Grano de café pergamino	s.d.	12,01	11,87
Grano de café almendra	s.d.	9,69	9,48

(Castillo, 1959)

## **2.7 CONCEPTO DEL SECADO**

El secado se lo puede definir de algunas formas, ya sea como el procedimiento de conservación de los granos o cereales mediante la eliminación total o parcial del agua pues esta última es la causante del deterioro y putrefacción de los granos o cereales.

También se puede considerar al secado como un comportamiento donde existe un cambio tanto de energía, calor y masa entre un medio que permita el secado de los granos o cereales y estos mismos con la finalidad de prolongar el tiempo de deterioro.

### **2.7.1 PROCEDIMIENTOS ANTES DEL SECADO**

Antes de ir detallando cuáles serán los pasos que se pueden encontrar para el secado de granos o cereales, se debe considerar las siguientes variables como:

- Evitar granos se encuentren germinados o con inicios de germinación.
- Evitar que el grano pase mucho tiempo en reposo antes de ser ingresados al proceso de secado.
- Evitar que el grano húmedo se lo aloje en lugares oscuros.
- Evitar las impurezas o restos de vegetación que vengan con los granos.
- Evitar los granos de café considerados como mal producto o de desecho.
- Evitar entreverar varias cosechas, ósea no se debe mezclar las cosechas aunque solo tengan una diferencia de 24 horas entre las mismas.
- Evitar que el grano reciba luz artificial cuando este aún con restos de agua.

### **2.7.2 VARIABLES A PRESENTARSE EN EL SECADO**

En la Tabla 4 se puede apreciar algunas variables que se pueden presentar en el secado del grano de Café.

**Tabla 4. Variables en el secado del café**

VARIABLE	DEFINICIÓN	DATO ESPECÍFICO
<b>Humedad</b>	Los granos de café son zonas húmedas lo que implica que este tipo de humedad relativa afectará también la humedad del grano en sí, por ello se aplicará la ecuación 1 que describe a continuación (Humedad Relativa)	15% al 20%
$\% \text{ de Humedad} = \frac{100 \cdot (\text{peso del grano seco})}{\text{peso del grano húmedo}}$		[1]
<b>Temperatura</b>	Mientras todavía no se procese los granos de café será importante y necesario albergar los mismos a temperaturas bajas así se evitará el nacimiento y la reproducción de microorganismos. De esta manera la Variación de Temperatura estará dada por la ecuación 2	[5 - 15]
$\Delta T = T_f - T_o$ <p><i>donde:</i></p> <p><math>\Delta T = \text{variación de temperatura}</math></p> <p><math>T_f = \text{temperatura final}</math></p> <p><math>T_o = \text{temperatura inicial}</math></p>		[2]
<b>Disponibilidad de Oxígeno</b>	Mientras menos oxígeno exista, es mucho menor la probabilidad de crecimiento de microorganismo	
<b>Luminosidad</b>	Mientras más luz exista en la cosecha y pos cosecha se conserva mejor el aroma puesto que evita la humedad	
<b>Impurezas</b>	Al hacer un lavado profundo se retira todas las impurezas que se puedan encontrar en el grano, además y de paso sirve para desecar los granos inservibles.	

## 2.8 PROCESO DE SECADO

Dentro de un proceso de secado hay que tomar en cuenta el tipo de transferencia de calor en el secado.

### 2.8.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN:

La forma idónea de transferencia de calor está directamente relacionada con la cantidad de agua a eliminar del grano de café, para ello se resuelve con la ecuación [3] (Maria, 2012)

$$Q = h_s \cdot A \cdot (T_g - T_{sup}) \quad [3]$$

donde:

$Q$  = es la velocidad de transmisión de calor  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$h_s$  = es el coeficiente de convección

$A$  = es el área de la cual tiene lugar el flujo de calor  $[m^2]$

$T_g$  = es la temperatura del aire

$T_{sup}$  = es la temperatura de la superficie que se esta secando

### 2.8.2 TRANSFERENCIA DE MASA EN EL SECADO

Cuando existe transferencia de calor, la transferencia de masa que existe se da porque existe variación de presión y su velocidad es proporcional a dicha variación y las propiedades del sistema de transmisión caracterizado por su coeficiente de transmisión de masa, como se aprecia en la ecuación [4]:

$$\frac{\delta w}{\delta t} = K_g \cdot A \cdot \Delta W \quad [4]$$

donde:

$\frac{\delta w}{\delta t}$  = es la tasa de transferencia de masa

$A$  = es el área a través de la cual se realiza la transmisión  $[m^2]$

$K_g$  = es el coeficiente de transmisión de masa

$\Delta W =$  es la diferencia de humedades.

## 2.9 PROPORCIONALIDAD EXISTENTE ENTRE LA HUMEDAD Y EL GRANO SECO

En los trabajos técnicos se prefiere proceder con los granos secos que sería una constante frente al peso y la cantidad de agua que se pueda alojar en cada grano, sin embargo la cantidad de base húmeda del grano se puede calcular bajo la siguiente ecuación.[5]

$$CH_{bh}(\%) = \left( \frac{W_a}{W_a + W_{ms}} \right) \cdot 100 \quad [5]$$

donde:

$CH_{bh}(\%) =$  es la contenido de humedad en base húmeda

$W_a =$  el peso del agua

$W_{ms} =$  es el peso de materia seca

Ahora para encontrar la cantidad de humedad en base seca, se debe partir de la siguiente ecuación [6].

$$CH_{bs}(\%) = \left( \frac{W_a}{W_{ms}} \right) \cdot 100 \quad [6]$$

donde:

$CH_{bs} =$  es el contenido de humedad en base seca

$W_a =$  el peso del agua

$W_{ms} =$  es el peso de materia seca

Cuando se encuentra la relación que existe entre ambas ecuaciones se obtiene la siguiente ecuación [7].

$$CH_{bh}(\%) = \left( \frac{CH_{bs}}{100 + CH_{bs}} \right) \cdot 100 \quad [7]$$

Y que en conclusión se puede decir que el contenido de humedad en base húmeda es menor.

## 2.10 DENSIDAD APARENTE ( $\rho_{ap}$ )

La ecuación [8] es el punto de partida para la verificación de la resistencia que presenta el aire, la misma que expresa la relación existente entre los poros de un grano y el volumen determinado, en este caso será el metro cúbico.

$$\rho_{ap} = \frac{\text{Masa del grano (kg)}}{\text{Volumen de granos con poros (m}^3\text{)}} \quad [8]$$

## 2.11 TECNICA DE SECADO DE GRANOS

De acuerdo con Dalpasquale et al. (Dalpasquale, Marcal de Queiroz, Marques Pereira, & Sinicio, 1991), dan a conocer a través de su libro que existe las siguientes técnicas de secado

### A) Secado natural

- a. En el campo
- b. En asoleaderos

### B) Secado artificial

- a. En bajas temperaturas:

Con aire natural con aire ligeramente calentado

- b. En altas temperaturas:

En lecho fijo en flujos cruzados en flujos concurrentes en flujos contracorriente en cascada (flujos mixtos)

- c. En combinación:

Consiste en variar de alta temperatura a baja temperatura, y viceversa.



Los métodos de secado natural no se analizan aquí, pues sus parámetros de secado dependen solamente de las condiciones ambientales. Se les mencionará, en algunos casos u ocasiones, como alternativas a las ya señaladas.

Se denominan procedimientos de secado a bajas temperaturas, aquellos que usan aire a temperatura ambiente o calentado en 3 a 5°C, como medio de transporte de humedad y energía.

En estos procedimientos se emplean bajos flujos específicos de aire (2,0 - 5,0 m<sup>3</sup>/min). Los procedimientos secados a altas temperaturas se caracterizan por el empleo de aire calentado, por lo menos a 10°C, sobre la temperatura ambiente

## **2.12 TEMPERATURA DE SECADO DEL CAFÉ INDUSTRIALMENTE**

Los secadores industriales son máquinas sumamente grandes porque operan con una capacidad que oscila entre cuarenta y cinco y sesenta quintales, con inyección de aire caliente, durante un periodo de treinta horas aproximadamente.

El café tiene la particularidad y es que es difícil tenerlo seco, es por tal motivo que se coloca granos mojados o escurridos y se da inicio a la operación con temperaturas de 80°C y se debe reducir a 70°C en la fase intermedia y se finaliza las últimas horas de secado en 60°C.

Existen empresas o micro empresas que optan por secar durante un determinado tiempo en los patios o bajo invernaderos improvisados el grano, así, logran que el tiempo en la máquina secadora se reduce considerablemente, pues el mayor tiempo y gasto de combustible empleado en esta operación se presenta al pasar del estado de granos mojados a granos oreados.

La temperatura ideal para el secado de los granos de café oscila entre 30°C a 70°C, estos son recomendaciones de personas dedicadas a los novedosos cafés de especialidad. (Coffepedia, s.f.)

## 2.13 TIPOS DE SECADORES

La naturaleza, tamaño y forma de los sólidos a ser secados, la escala de operación, el método de transporte y el tipo de contacto con el gas, el modo de calentamiento, etc., son algunos de los muchos factores que conducen al desarrollo de una considerable variedad de equipos y máquinas.

### 2.13.1 SECADORES ROTATIVOS

Los secadores de esta índole hacen girar al producto en una cámara cilíndrica por la que se hace pasar aire caliente mientras el producto se mantiene en agitación.

La cámara cilíndrica consta de rodillos quedando ligeramente inclinada.

El interior de la cámara esta provista de aletas batidoras que agitan el producto al girar la cámara, haciendo que el producto caiga a través de la corriente de aire caliente



**Figura 2.** Secador rotativo  
(Tendencia, 2010)

La Figura 2 muestra la forma y dimensión de este tipo de secador rotativo.

La Figura 4 muestra la forma de interacción entre el usuario u operario y la máquina al mismo tiempo que da una idea más real de las dimensiones y espacio que ocupa la máquina.

Este tipo de equipos son muy sensibles y solo debe operar personas completamente capacitadas.

#### **2.13.4 SECADORES DE CINTAS TRANSPORTADORAS**

Son secadores de malla metálica o de lámina de acero perforada, aunque también se consigue de malla plástica.

El producto húmedo se carga de manera mecanizada, en un extremo de la cinta, en capas de 10 a 15 cm. de espesor.



**Figura 5.** Secador de cinta transportadora  
(Machinery, 1997)

La Figura 5 provee una idea más clara de cómo es la forma de este tipo de secadores y el espacio o área que este tipo de secadores ocupan dentro del espacio físico de la empresa.

#### **2.13.5 SECADORES DE LECHO FLUIDIZADO**

En este tipo de secador el aire caliente es forzado a través de un lecho de sólidos de forma tal que dichos sólidos queden suspendidos en el aire.

El aire caliente actúa tanto como medio fluidizante como medio de secado.

### 2.13.2 SECADORES DE RODILLO

Constan de un rodillo hueco, de superficie perfectamente lisa, calentado interiormente por vapor o resistencias, que gira arrastrado por la hoja continua del material.



**Figura 3. Secador de Rodillo**  
(Repositorio, 2001)

En la Figura 3 se muestra como es la forma y estructura para operar los secadores de rodillo.

### 2.13.3 SECADORES DE COMPARTIMIENTOS, BANDEJAS O CABINA

Los calentadores de aire pueden ser quemadores directos de gas, serpentines calentados por vapor o, en los modelos más pequeños, calentadores de resistencia eléctrica de esta manera están continuamente emitiendo calor a bandejas donde se encuentran el producto.



**Figura 4. Secador de Bandeja**  
(Corporation, 2001)

El secado por fluidización lleva consigo muchas ventajas como el uso de energía renovable, un impacto mínimo al entorno y sobre todo porque es un método técnico relativamente nuevo, pues en el Ecuador aún no se desarrolla a gran escala esta alternativa de secado.

Una definición técnica sería la siguiente:

*“La fluidización es una operación en la que un sólido se pone en contacto con un líquido o un gas, adquiriendo el conjunto unas propiedades similares a las de los fluidos” (Rodríguez, 1974)*

Durante las etapas de secado en un lecho fluidizado se puede observar varias etapas como:

a) Etapa de lecho fijo:

Esta fase se presenta al encender la máquina, donde los granos se encuentran húmedos y en estado estático pues la velocidad no logra aun vencer la presión interna.

b) Etapa mínima de fluidización:

En este momento es cuando los primeros granos que están más en contacto con el aire caliente empiezan a moverse pues ya se encuentran más livianos.

c) Fluidización homogénea

Se presenta cuando existe ya un movimiento considerable entre los granos que se encuentran en la parte inferior del lecho, los mismos que al moverse empiezan a rotar y van secándose homogéneamente.

d) Lecho burbujeante

Esta etapa del secado se presenta cuando los granos son lo suficientemente livianos como para ser alzados fácilmente por el aire que corre a través del lecho, es fácilmente visible. En la Figura 6 se mencionan varios puntos que cumplen un papel fundamental dentro del proceso de secado por fluidización,

pues el éxito del proceso depende de que se presente con la mayor naturalidad cada uno de ellos.

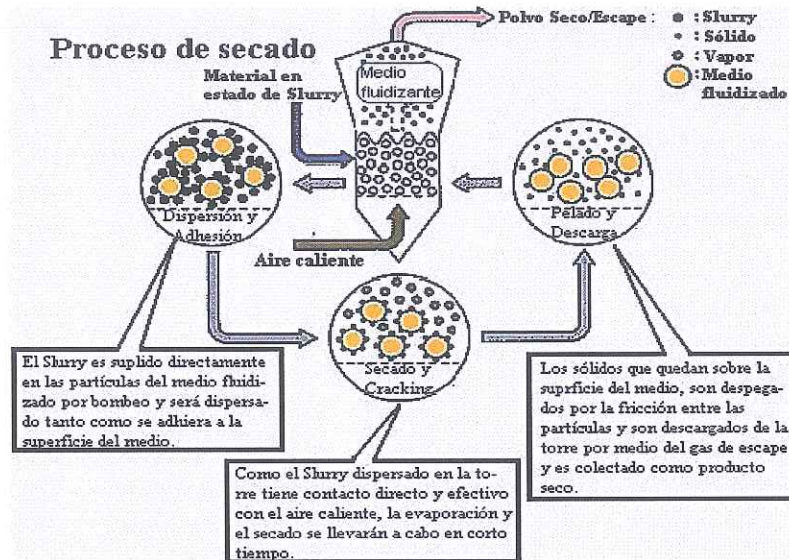


Figura 6. Secador de lecho fluidizado (Machinery, 1997)

## 2.14 PROPIEDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA MÁQUINA

La transferencia de calor hacia la interface puede tener lugar por conducción, convección y radiación.

### 2.14.1 CONDUCCIÓN

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas. La ecuación [9], se encuentra integrada respecto al tiempo y la misma rige el transporte molecular por conducción, tal como se observa:

$$q = - \frac{k.A.(T-T_i)}{h} \quad [9]$$

donde:

$q$  = Calor transmitido por unidad de tiempo

$k =$  Es la conductividad térmica

$A =$  Al área de superficie en contacto

$(T - T_i) =$  Diferencias de Temperatura

$h =$  Espesor del material

### 2.14.2 CONVECCIÓN

El modo de transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento global, o macroscópico del fluido. La ecuación [10] en general en régimen estacionario rige la transferencia de calor por convección:

$$q_c = -H \cdot A \cdot (T - T_i) \quad [10]$$

donde:

$q =$  Calor transmitido por unidad de tiempo

$A =$  Al área de superficie en contacto

$(T - T_i) =$  Diferencias de Temperatura

$h =$  Espesor del material

### 2.14.3 RADIACIÓN

La ecuación [11] muestra la radiación térmica que es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita.

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{aire}^4) \quad [11]$$

donde:

$q =$  Calor transmitido por radiación

$\varepsilon =$  Emisividad  $0 < \varepsilon < 1$

$(T - T_i) =$  Diferencias de Temperatura

$\sigma =$  Constante de Stefan Boltzmann  $5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$

## 2.15 VENTILADORES INDUSTRIALES O BLOWERS

Son máquinas donde su función principal es proveer de un flujo considerable de aire y de manera continua a procesos dentro de la industria, normalmente estos elementos se encuentran conformados de aspas o paletas unidas a un eje o rotor, los mismos que dependen de un motor para producir un movimiento en conjunto y así emitir un salida de aire. Existe dos tipos de blowers y son aquellos que su construcción está diseñada para evacuar el aire de forma axial o paralela al eje, y la otra variación de blower son los centrífugos estos últimos evacuan el aire de forma tangencial al eje. En la Figura 7 y 8 se ejemplifica su forma y su forma de funcionamiento.-

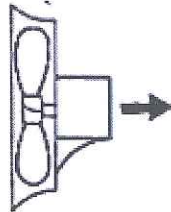
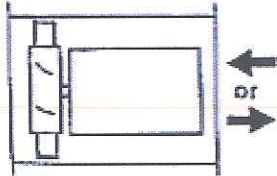
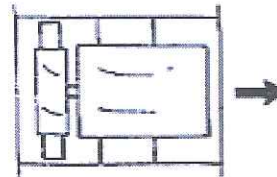
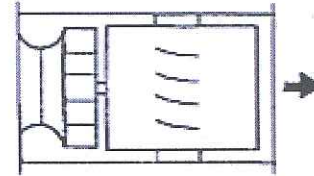
<b>TIPOS DE VENTILADORES AXIALES</b>		
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>APLICACIONES</b>
	<p><b>TURBINA "HÉLICE":</b> Las turbinas tiene normalmente dos o mas palas de grosor singular rodeadas por un simple anillo de cobertura. Su eficacia es generalmente baja y su uso esta limitado a presiones bajas.</p>	Se aplica para el movimiento de grandes caudales de aire, tales como: recirculación en interiores o ventilación a través de una pared al exterior.
	<p><b>TUBOAXIAL:</b> La turbina es similar a la anterior entila que suele tener mas palas con un diseño mas pesado. La turbina se encuentra dentro de un tambor o tubo para que se incremente la eficacia y capacidad de presión.</p>	Se aplica a sistemas HVAC conducidos donde la distribución de aire por el aire de descenso no es crítica. Sus aplicaciones industriales incluyen hornos desecados cabinas de dispersión de pintura y sistemas de extracción de gases.
	<p><b>VENEAXIAL:</b> Es el mas eficaz de los axiales. Utiliza paletas direccionales para mejorar el rendimiento y la capacidad de presión. Las palas tiene a menudo la forma de Airfoil y pueden regularse en marcha mediante un accionador. La capacidad de presión puede ser de media alta.</p>	Se aplica a sistemas generales HVAC, especialmente donde el flujo es directo y se necesita que sean compactos. Buena distribución del aire. Utilizados en muchas de las aplicaciones industriales.
	<p><b>CENTRÍFUGO EN LÍNEA:</b> Este tipo es realmente un ventilador centrifugo, con turbina de palas inclinadas hacia atrás o Airfoil dentro de una cubierta venaxial. La eficacia es buena pero menor que la de un tipo similar de centrifugo.</p>	Se utiliza principalmente para sistemas de retorno de aire a baja presión en calefacciones, ventilación y acondicionamiento de aire. Tiene un flujo directo.

Figura 7. Blowers axiales  
(Blower, 2011)



## TIPOS DE VENTILADORES CENTRÍFUGOS:

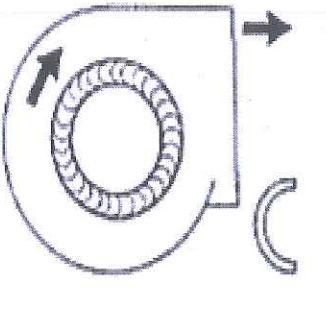
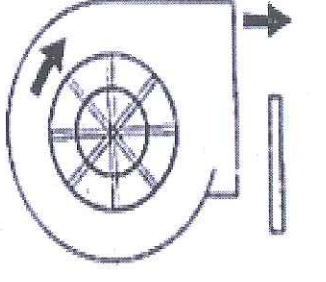
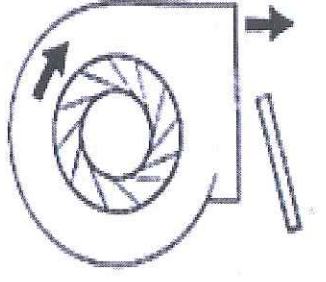
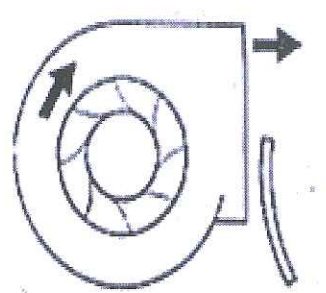
	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
	<p><b>PALAS CURVADAS HACIA DELANTE:</b> Las palas de la turbina son pequeñas y curvadas hacia delante según la dirección de rotación de la turbina. Este ventilador gira a velocidades relativamente bajas para mover gran cantidad de aire. A este tipo de turbina se les llama a menudo turbina de jaula de ardilla.</p>	<p>Principalmente para presiones bajas, ventilaciones, aire acondicionado de tipo doméstico (hornos), unidades de maquinarias estacionadas y equipos de acondicionamiento de aire.</p>
	<p><b>PALA RADIAL:</b> Esta turbina es como una rueda de paletas, con o sin llantas. Las palas son perpendiculares al eje de rotación de la turbina y el ventilador gira a una velocidad media para remover una cantidad de aire dada.</p>	<p>El tipo de pala radial está diseñado para el manejo de materia en suspensión. Es de construcción fuerte y de reparación simple también se utiliza para requerimientos industriales de alta presión.</p>
	<p><b>PALAS INCLINADAS HACIA ATRÁS:</b> Esta turbina es de palas lisas, inclinadas de rotación de la turbina. Este ventilador gira a una velocidad relativamente alta y es más eficaz que los nombrados hasta ahora.</p>	<p>Calefacciones centrales, sistemas de ventilación y de aire acondicionado. Se usa para aplicaciones industriales en donde la pala Airfoil puede sufrir entifa por el polvo en suspensión.</p>
	<p><b>PALA AIRFOIL:</b> Aunque no es un "tipo básico", es un importante adelanto en el diseño de turbinas con palas inclinadas hacia atrás. Posee un elevado índice de eficacia y gira a una velocidad ligeramente mayor que la pala plana standard.</p>	<p>Es el más eficaz de todos los centrífugos. Generalmente se utiliza para sistemas HVAC y en aplicaciones industriales de aire limpio en donde los ahorros de energía son significativos. Puede tener una construcción especial para tratamiento de aire sucio.</p>
	<p><b>RADIAL TIP:</b> Las palas de la turbina están curvadas en la dirección del eje de rotación de la turbina pero las palas están echadas hacia atrás de manera que su extremo exterior se aproxima a la posición radial. Este ventilador gira aproximadamente a la misma velocidad que una turbina de palas inclinadas hacia atrás.</p>	<p>Este tipo también se ha diseñado para el manejo de materias en suspensión o suciedad y es más que la pala radial.</p>

Figura 8. Blowers centrífugos  
(Blower, 2011)

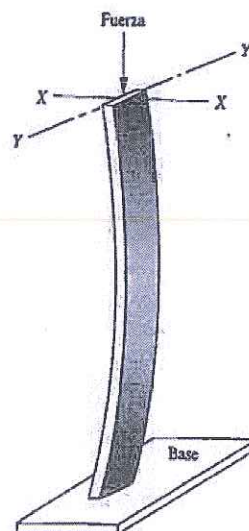
## 2.16 CÁLCULO DE LA COLUMNA

*“Una columna es un miembro estructural que soporta una carga axial de compresión y que tiende a fallar por inestabilidad elástica o pandeo, más que por aplastamiento del material.*

*La inestabilidad elástica es la condición de falla donde la forma de una columna no tiene la rigidez necesaria para mantenerla erguida bajo la carga. Entonces, si no se reduce la carga, la columna se colapsará. Es obvio que este tipo de falla catastrófica debe evitarse en estructuras y en elementos de máquinas.*

*En el caso ideal, las columnas son rectas y relativamente largas y esbeltas. Si un miembro en compresión es tan corto que no tiende a pandearse, ...” (Mott, 2006)*

Un ejemplo de columna se puede apreciar a continuación en la Figura 9.



**Figura 9.** Columna  
(Mott, 2006)

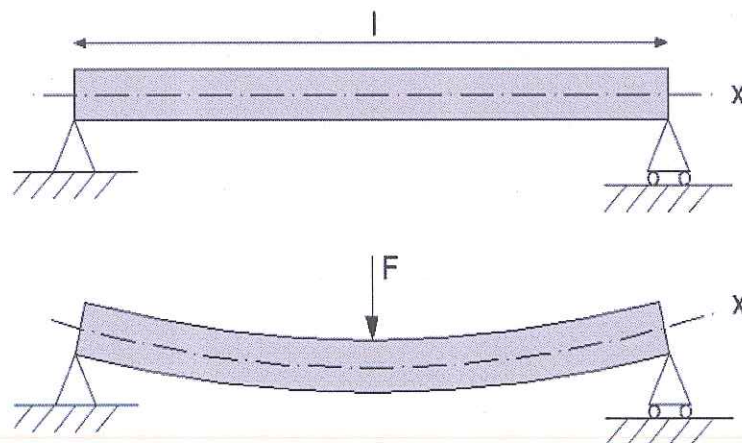
## 2.17 CÁLCULO DE LA VIGA

*“En ingeniería y arquitectura se denomina viga, palabra proveniente del latín biga, (viga, del latín biga 'carro de dos caballos'), a un elemento estructural*

lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas, la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.

El esfuerzo de flexión provoca tensiones de tracción y compresión, produciéndose las máximas en el cordón inferior y en el cordón superior respectivamente, las cuales se calculan relacionando el momento flector y el segundo momento de inercia.

En las zonas cercanas a los apoyos se producen esfuerzos cortantes o punzonamiento. También pueden producirse tensiones por torsión, sobre todo en las vigas que forman el perímetro exterior de un forjado. Estructuralmente el comportamiento de una viga se estudia mediante un modelo de prisma mecánico.” (Pérez, 1990)



**Figura 10. Viga**  
(Pérez, 1990)

En el estudio de Vigas se considera lo siguiente:

- El eje X es tangente al baricéntrico de la viga
- El eje Y coincide con el eje principal de inercia.
- El eje Z coincide con el eje principal de inercia

Los supuestos básicos de la teoría de vigas para la flexión simple de una viga que flecte en el plano XY son:

- Hipótesis de comportamiento elástico.
- Hipótesis de la flecha vertical.

- Hipótesis de la fibra neutra.
- La tensión perpendicular a la fibra neutra se anula:
- Hipótesis de Bernoulli.

Un ejemplo de lo que se llama viga y su comportamiento se lo puede identificar mediante la Figura 10.

## **2.18 CÁMARA DE SECADO**

Es la parte fundamental para la construcción del actual proyecto, pues es el lugar donde se llevará a cabo el secado del producto, que realmente es el centro de todo el proceso.

Para lograr las condiciones ideales para el secado de los granos, se debe buscar que el calor fluya de una manera constante y que la velocidad sea de la misma manera constante.

Para lograr este último será de gran importancia que exista una salida con retroalimentación para aprovechar en su totalidad el aire caliente y que no exista un desperdicio de temperatura, es imperativo que el material del que será construido la cámara de secado (paredes y tapa) permita que fluya rápidamente el aire sin que cause turbulencias o cortes de fluido de aire

## **2.19 CÁLCULO DE POTENCIA**

Se puede definir como la proporción de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, de una manera más común se puede decir que es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un determinado tiempo.

El cálculo de potencia de cargas reactivas se lo hace cuando se usa corriente alterna, en este tipo de cálculo también se debe tomar en cuenta el factor de potencia o coseno de "phi" ( $\cos \varphi$ ), donde el caso ideal es que el valor sea 1 (la unidad), sin embargo por lo general el valor tiende a oscilar entre 0,85 y 0,98 dependiendo de la cantidad de flujo eléctrico que exista en el lugar.

Para el cálculo de potencia eléctrica se usa la siguiente ecuación [12]

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad [12]$$

*donde:*

*P = potencia en [W]*

*V = voltaje o tensión [V]*

*I = valor de corriente [A]*

*cos  $\varphi$  = factor de potencia*

### **3. METODOLOGÍA**

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA

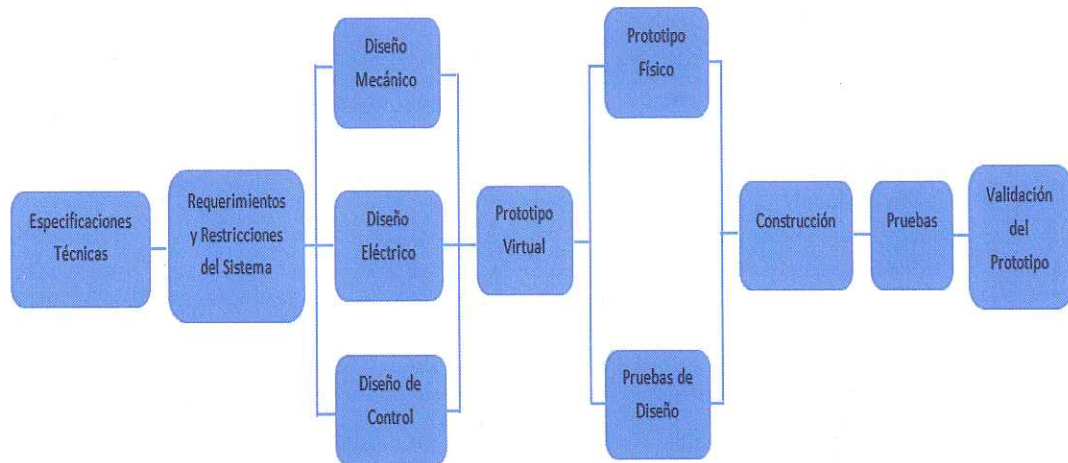


Figura 11. Metodología Mecatrónica

Es aquella que busca sostener un modelo de ingeniería completo, llevando a cabo procesos técnicos y científicos necesarios para que no tenga errores el mismo y todo empieza por los pasos anteriormente descritos en la Figura 11, a continuación se detalla para una mejor comprensión cada uno de ellos.

- **Requerimientos y limitaciones del sistema:**

Se analiza la necesidad, las variables que se puedan dar tanto internas como externas a dicha necesidad, y es donde se puede verificar que restricciones se pueden dar en la elaboración del prototipo.

- **Diseño Mecánico, Eléctrico y de Control**

En este punto se va estructurando y dando forma al proyecto satisfaciendo aquella necesidad que dio inicio al mismo.

- **Prototipo Virtual**

Se pone a prueba la teoría, emulando un ambiente real mediante programa CAD y mediante la simulación lograr verificar que todo el prototipo se encuentre funcional al 100%.

- **Prototipo Físico**

Este momento se da una vez ya aprobado y emulado el proyecto para poder pasar a buscar cada uno de los componentes necesarios para la realización del mismo pero real (físico).

- **Construcción**

Es el ensamble de partes y componentes que darán vida física al proyecto.

- **Pruebas**

Cuando se encuentre ya construido el prototipo es de importancia realizar las pruebas necesarias y de esta manera verificar que cumpla con todas las especificaciones técnicas y requerimientos planteados.

- **Validación del prototipo**

Será el funcionamiento en sí, la puesta a prueba final, cumpliendo cada norma y especificación fundamentada en un principio o en el transcurso del desarrollo del prototipo.

### **3.2 REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA**

La máquina deberá ser lo suficientemente estable como para llevar a cabo el trabajo del secado, convendrá que sea rápida, efectiva y sobre todo que sea segura y fácil de operar, con respecto a las que se encuentren industrialmente en el mercado.

La máquina debe ser desmontable para llevar a cabo su mantenimiento y su transporte, pero al mismo tiempo debe poseer una estructura robusta que pueda resistir el peso propio, el maltrato físico que tal vez pueda tener y el trabajo que realizará.

Y solo así podrá someterse a pruebas que constaten su verdadero y completo funcionamiento, de tal manera que se evite posibles riesgos o accidentes laborales.



En la Tabla 5 se hace mención a los requerimientos que debe satisfacer la máquina.

**Tabla 5.** Requerimientos de la máquina.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>INFORMACIÓN</b>
<b>Transferencia de calor</b>	Por Convección
<b>Dimensiones del proyecto</b>	El volumen de espacio podría ser de 1 m <sup>3</sup>
<b>Materiales del proyecto</b>	Deben ser fáciles de conseguir, de durabilidad considerable, y bajo costo.
<b>Diseño y fabricación de piezas nuevas</b>	Deben ser desmontable y de fácil mantenimiento cada una de las piezas.
<b>Calibración y precisión en el ensamble</b>	Al momento de ensamblar las piezas deben encajar sencillamente sin presión o fuerza
<b>Tamaño y forma del proyecto</b>	Debe ser entendible el armado como si fuese un rompecabezas.

### **3.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

Es necesario poner en consideración varias alternativas de diseño, y a partir de dichas alternativas encontrar la más idónea o viable, para encontrar dicha alternativa de diseño existen varias técnicas de desarrollo, sin embargo en el actual proyecto se tomará en cuenta los siguientes métodos:

- 1) Casa de la calidad
- 2) Diagrama morfológico
- 3) Método de criterios ponderados

#### **3.3.1 CASA DE CALIDAD**

La finalidad de este método es encontrar mediante un diagrama, las aspiraciones del cliente y las características a cubrir en el diseño por parte del diseñador.

Este método interrelaciona cliente vs capacidades, cliente vs servicios, y cliente vs prioridades, para el caso del presente proyecto interrelacionara criterios de ingeniería vs necesidades del cliente como se muestra a continuación:

La Tabla 6 describe los criterios de ingeniería vs las necesidades, de esta manera se pone en manifiesto los 2 criterios más relevantes para el diseño, que para el caso del proyecto actual son:

- Diseño
- Costo

Tabla 6. Casa de calidad

<b>SECADOR DE GRANOS DE CAFÉ POR FLUIDIZACIÓN</b>													
CASA DE CALIDAD REQUERIMIENTOS DE INGENIERÍA VS NECESIDADES DEL CLIENTE													
	EXCELENTE	CRITERIOS	Requerimientos Geométrico	Requerimientos de Materiales	Requerimientos de manufactura	Requerimiento de Ensamble	Requerimiento de Cinemática	Requerimiento de esfuerzos	Diseño	Seguridad y Ergonomía	Control	Impacto Ambiental	VALORES OBJETIVOS
	BUENO												
NECESIDADES DEL CLIENTE													
Complejidad de operación		4	3	3	3	3	1	3	5	3	5	1	30
Costo		3	5	3	5	3	1	3	5	5	5	5	40
Cantidad de operarios		1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	14
Tiempo de garantía de la maquina		5	1	3	5	3	1	3	5	3	3	1	28
Capacitación al cliente para operar la maquina		5	1	1	3	3	1	3	5	5	5	1	28
Tamaño de la maquina		4	5	3	3	3	1	3	5	5	5	3	36
Tiempo de operación continuo de la maquina		3	1	5	5	3	3	5	5	3	3	5	38
Presentación		2	3	3	3	3	1	3	5	5	5	3	34
VALORES OBJETIVOS			22	22	28	22	10	24	36	32	32	20	

Con un razonamiento mayor y con estos dos últimos criterios, se puede empezar el diseño de la máquina, y para llevar a cabo se necesita seguir con el siguiente punto.

### 3.3.2 CRITERIOS PONDERADOS

El método sugiere detallar los factores más relevantes del proyecto, al asignar un valor determinado a cada característica del mismo.

La ponderación se la coloca a criterio del diseñador, en la Tabla 7 se pone en consideración los valores con los que se calificará cuantitativamente para el actual proyecto, y serán:

**Tabla 7. Ponderación criterios ponderados**

<b>VALOR CUALITATIVO</b>	<b>VALOR CUANTITATIVO</b>
<b>Bajo</b>	0
<b>Medio</b>	0,5
<b>Alto</b>	1

Una vez detallado los valores de ponderación se procede a realizar el método de criterios ponderados el cual tiene por finalidad ponderar los factores que intervienen en el diseño de la máquina, de esta manera determinar las características más relevantes del diseño, tal y como se presenta en la Tabla [8]

Una vez que se obtiene los criterios de ponderación se procede a calificar las diferentes alternativas de diseño que se tiene en mente y así, de esta manera encontrar la alternativa más idónea que satisfaga todas las necesidades, dichas alternativas se explican a continuación:

Tabla 8. Criterios ponderados

MÉTODO DE CRITERIOS PONDERADOS															
CRITERIOS	Requerimientos Geométrico	Requerimientos de Materiales	Requerimientos de manufactura	Requerimiento de Ensamble	Requerimiento de Cinemática	Requerimiento de esfuerzos	Diseño	Seguridad y Ergonomía	Control	Impacto Ambiental	Suma Parcial	$\Sigma + 1$	Ponderación	%	
Requerimientos Geométrico		1	0,5	1	0,5	1	1	1	0,5	0,5	7	8	0,108108	10,81081	
Requerimientos de Materiales	1		1	1	0,5	1	1	1	0,5	0,5	7,5	8,5	0,114885	11,48849	
Requerimientos de manufactura	1	1		1	0,5	1	1	1	0,5	0,5	7,5	8,5	0,114885	11,48849	
Requerimiento de Ensamble	1	1	1		0,5	1	1	1	0,5	0,5	7,5	8,5	0,114885	11,48849	
Requerimiento de Cinemática	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	1	0,5	0,5	0,5	5	6	0,081081	8,108108	
Requerimiento de esfuerzos	1	1	1	1	0,5		1	0,5	0,5	0,5	7	8	0,108108	10,81081	
Diseño	1	1	1	1	0,5	1		1	1	1	8,5	9,5	0,128378	12,83784	
Seguridad y Ergonomía	1	1	1	1	0,5	1	1		0,5	0,5	5,5	6,5	0,087838	8,783784	
Control	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0	1	1		0,5	5,5	6,5	0,087838	8,783784	
Impacto Ambiental	0,5	0,5	1	0	0	0	0,5	0,5	0		3	4	0,054054	5,405405	
											SUMA	64	74	1	100

- 1) Secador de lecho fluidizado a manera de tubo vertical con horno en serie.
- 2) Secador de lecho fluidizado a manera de tubo horizontal con horno en serie.
- 3) Secador de lecho fluidizado a manera de botella con horno en paralelo.

Para poder comprender más el funcionamiento y su forma operar a continuación en la Tabla 9 y 10 se aprecia el concepto de forma, además de

que se pondera las características de diseño vs las alternativas de diseño con una calificación que oscila entre 1 – 5 puntos, teniendo en cuenta que 1 es el valor más descartable y 5 el valor más óptimo, así:

**Tabla 9. Criterios ponderados, selección de alternativas**

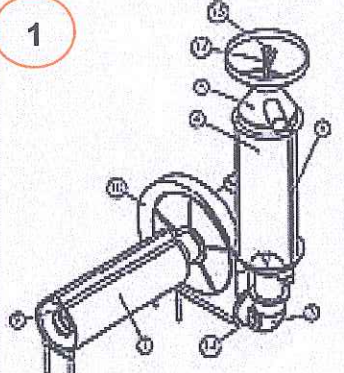
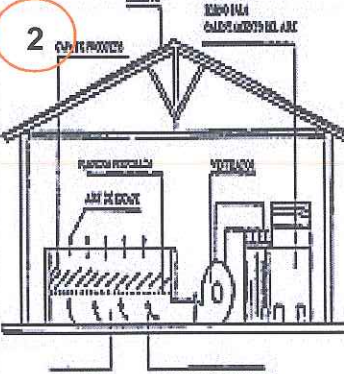
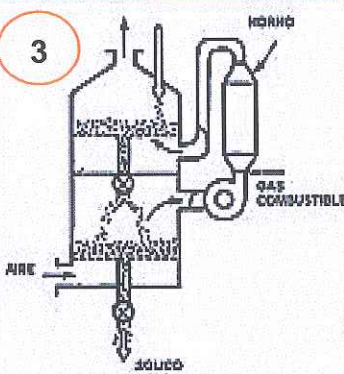
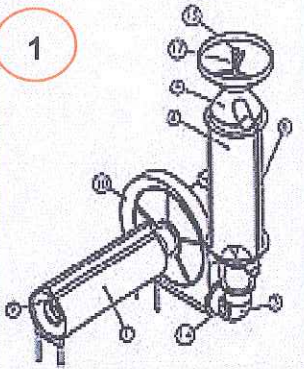
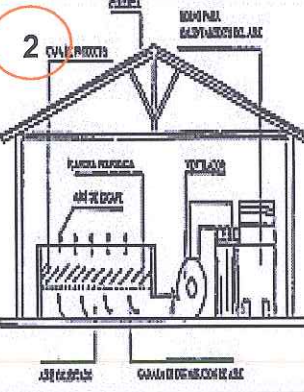
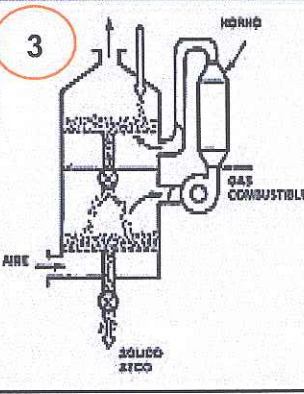
<b>CUADRO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO COMPAS</b>	Requerimientos Geométrico	Requerimientos de Materiales	Requerimientos de manufactura	Requerimiento de Ensamble	Requerimiento de Cinemática	Requerimiento de esfuerzos	Diseño	Seguridad y Ergonomía	Control	Impacto Ambiental	<b>TOTAL</b>
	5	4	3	4	3	3	4	5	5	5	41
	1	2	5	2	3	4	4	4	4	4	33
	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	33

Tabla 10. Criterios ponderados, selección por prioridad

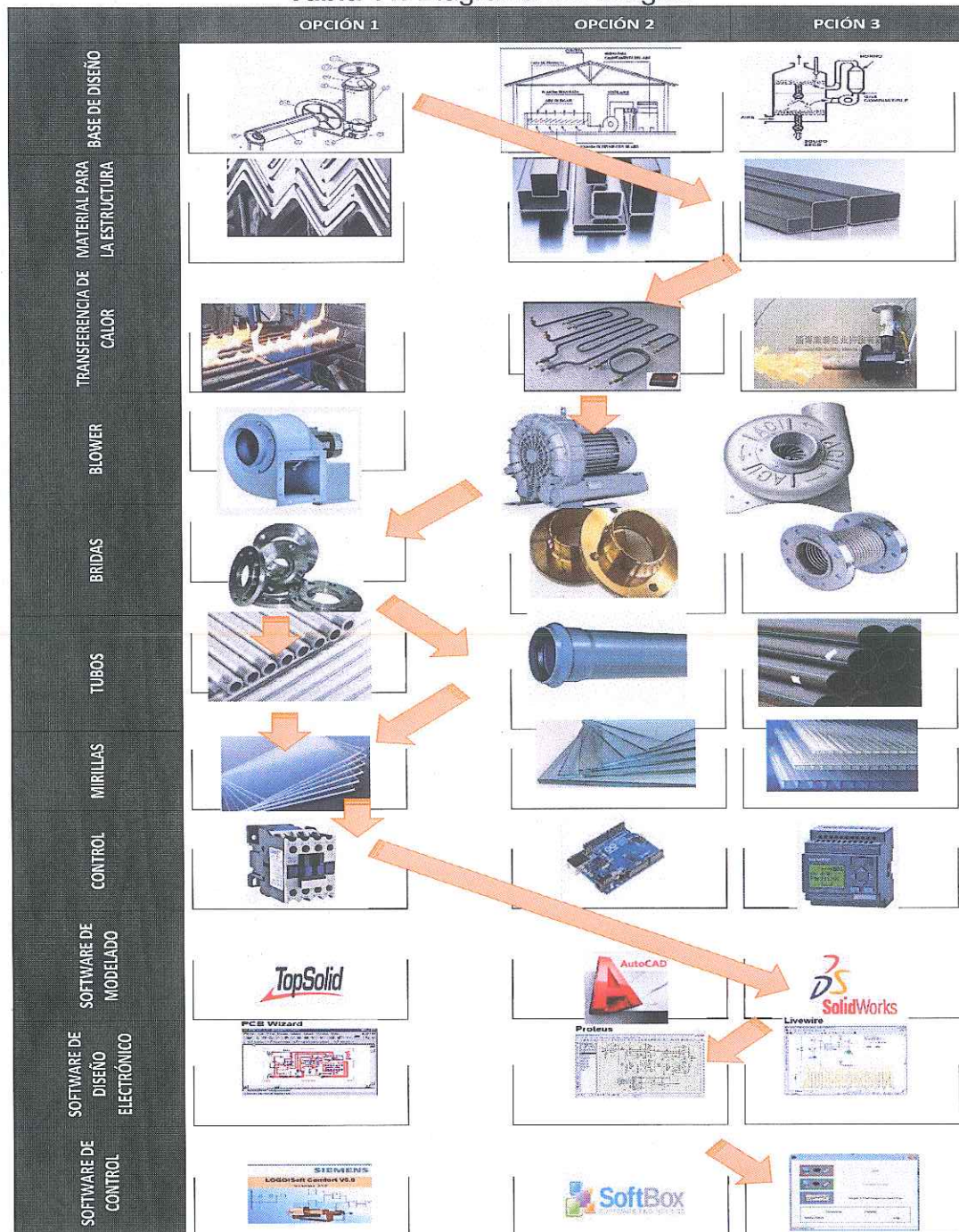
<p><b>CUADRO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS POR PRIORIDAD</b></p>	Requerimientos Geométricos	Requerimientos de Materiales	Requerimientos de manufactura	Requerimiento de Ensambla	Requerimiento de Cinemática	Requerimiento de esfuerzos	Diseño	Seguridad y Ergonomía	Control	Impacto Ambiental	Σ	Prioridad
<p>1</p> 	0,5405	0,4595	0,3446	0,4595	0,2432	0,4324	0,5135	0,4392	0,4392	0,2703	4,1419	1
<p>2</p> 	0,1061	0,2297	0,5743	0,2297	0,2432	0,4324	0,5135	0,3514	0,3514	0,2162	3,25	3
<p>3</p> 	0,3243	0,3446	0,3446	0,3446	0,2432	0,4324	0,5135	0,2635	0,3514	0,2162	3,3784	2

La Tabla 10, hace énfasis en los respectivos cálculos de ponderación, y se orienta ya, cuál sería el destino a tomar para el diseño del proyecto. Una vez ya encontrado los criterios pertinentes para el diseño y el valor ponderado que se usará, se procede con el siguiente punto.

### 3.3.3 MÉTODO DE DIAGRAMA MORFOLÓGICO

Este método o técnica de diseño se trata de demostrar en el modelo ya idóneo o seleccionado con mayor viabilidad, los tipos de materiales que pueden ser seleccionados como solución para la misma necesidad, a continuación en la Tabla 11, se describirá lo mencionado:

**Tabla 11. Diagrama Morfológico**



Como se mostró en la Tabla 11, en la ruta de la metodología morfológica, estas son las opciones con mayor viabilidad en el cumplimiento del proyecto, por tanto con bases técnicas y científicas serán justificados correctamente en su momento mediante cálculos y argumentos de diseño.

### **3.4 CÁLCULOS NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.**

Para poder realizar el diseño a continuación se presenta una serie de procedimientos tanto analíticos como teóricos que se debe realizar en el capítulo de diseño:

- **Diseño Mecánico:** En esta sección se plantea ciertos cálculos que ayudaran a obtener los motores apropiados para el movimiento de toda la estructura como:
  - a) Cargas, fuerzas y esfuerzos a las que están sometida la estructura
  - b) Velocidad, temperatura, tipo de pared y esfuerzos en la torre de secado.
  - c) Modelado
  
- **Parámetros Eléctricos y Electrónicos :** En esta sección se aplicará los siguientes pasos:
  - a) Una breve descripción de los elementos.
  - b) Definir el voltaje y corriente que se utilizará en la máquina.
  - c) Potencia y consumo de electricidad.
  
- **Diseño de Control:** En esta sección se explicará cómo se desarrolló la parte de control de la máquina que partes o piezas encajan dentro del armado del mismo y el papel que desempeñan cada una de estas.



- **Protocolo de Pruebas:** En este punto se describe las experiencias realizadas con la máquina. Para realizar las pruebas, se procederá de la siguiente manera:
  - a) Se procede a realizar a tomar una muestra de 1 Kg de Café los mismos que previamente estuvieron sumergidos en agua para poder encontrar los mejores granos y a la vez homogenizar el producto.
  - b) La muestra seleccionada se la introduce por la pequeña tolva que se encuentra lateralmente a la torre de secado.
  - c) Una vez introducido el producto se configura el sensor de temperatura Tenmars TM-305U para que empiece a operar y arroje información valiosa para posterior análisis.
  - d) También se configura los parámetros mínimos y máximos para el funcionamiento del Pirómetro (Min 30 °C, Max 60 °C para la prueba 1 y 70° C para la prueba 2).
  - e) Antes de seguir con la operación de la máquina se realiza mediciones de la altura que ocupa el grano de café en la torre de secado.
  - f) Una vez que se tenga todo configurado se procede a encender la máquina para que empiece a operar por un tiempo de recomendación que oscile entre 40 a 50 min, no más allá de este tiempo pues se dañará el producto.
  - g) Transcurrido el tiempo recomendado se debe apagar la cámara de secado, sin dejar de funcionar el blower puesto que es necesario bajar la temperatura paulatinamente del producto y de la máquina para esto se toma un tiempo aproximado de 10 min.
  - h) Posteriormente se apaga el blower y se deja en reposo por aproximadamente 5 min la máquina antes de proceder a extraer el producto.
  - i) Una vez culminado el tiempo de reposo se procede a realizar la medición final de la altura que tiene en este momento la cantidad de granos de café dentro de la cámara se secado.
  - j) Para extraer el producto primero se debe acoplar el utensilio externo a la máquina en la compuerta que se encuentra construida en el codo HG.

- k) Con el utensilio acoplado dentro del codo y por debajo del tamiz se procede a retirar este último con cuidado y lentamente para que pueda el producto ir cayendo despacio en un recipiente.
- l) En este punto se verifica la diferencia existente entre un producto ya procesado y uno por procesar, mediante la eficiencia de la máquina para cada muestra.
- m) Se vuelve a realizar los procesos de las muestras que sean necesarias (para el proyecto actual se realizará dos pruebas de cinco muestras cada una) para poder encontrar la información que dé resultados claros y concisos.

## **4. DISEÑO**

## 4. DISEÑO

### 4.1 DISEÑO ELÉCTRICO

#### 4.1.1 SELECCIÓN DEL BLOWER

Existen varias alternativas o métodos de selección de blowers, los más conocidos son los siguientes:

- a) Mediante el volumen del caudal del aire “PCM o CFM” (pies cúbicos por minuto)

Este método es válido cuando se depende específicamente del flujo de aire para un proceso industrial.

- b) Mediante la presión estática “PE”

Normalmente se conoce a la Presión Estática como “Empuje”, donde este será necesario para vencer la resistencia del sistema del flujo del aire, este método tiene una falencia que se corrige siempre a temperaturas superiores a 21 °C como condiciones normales.

- c) Mediante la “Prueba de Error”

Que no es más que ir verificando físicamente que dimensión y fuerza cumple mejor para escoger.

- d) Método de tablas multipuntos

Normalmente este es el método más usado y fiable, la tabla multipuntos muestra en su lista verticalmente los CFM.

Horizontalmente los SP, de la siguiente manera, como muestra en la siguiente Tabla 12. En base a la experticia e información recopilada se conoce de antemano que industrialmente para este tipo de máquinas se usa blowers que oscilan entre los 2700 PCM y 3000 PCM.

Tabla 12 Multipuntos

PCM	1° PE		2° PE		3° PE		4° PE	
	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
2400	1254	.66	1471	1.09	1683	1.59	1934	2.41
2550	1307	.74	1515	1.19	1713	1.70	1963	2.55
2700	1360	.83	1562	1.30	1748	1.82	1996	2.70
2850	1415	.93	1612	1.42	1787	1.96	2032	2.86
3000	1470	1.04	1661	1.55	1829	2.10	2112	3.24

(Blower, 2011)

Sin embargo comercialmente se consigue pocos modelos, para el caso del actual proyecto se usará un blower que tendrá 3000 PCM y a vencer una salida de 2" PE.

En base a la Tabla 16 se logra visualizar como resultados 1661 rpm y 1,55 BHP (brake horse power), es por ello que el motor de 2 HP trabajara correctamente, pues aunque exista una pequeña pérdida seguirá cumpliendo el valor mínimo.

#### 4.1.2 SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA

Sabiendo que la resistencia térmica se define como el impedimento que un material presenta al flujo de calor se puede encontrar una gran variedad de materiales aislantes que tendrán una resistividad alta.

Es por ello que se emplea varios tipos de alternativas para encontrar el material idóneo.

##### a) Mediante la "Prueba de Error"

Es aquella que consiste básicamente en ir buscando el material ideal que se acople al diseño.

##### b) Mediante el "Consumo de Corriente"

Pues ya que es una carga totalmente resistiva existe un consumo alto de Corriente, por ello existen tablas que demuestran el consumo de corriente en un determinado tiempo de cada material.

c) Mediante la "Temperatura"

Para el proyecto este método es el usado pues se sabe de antemano que el proceso de secado de café oscila entre los 60 y 70 °C.

En este punto vale destacar que el método hace relación en alcanzar una temperatura deseada en el menor tiempo posible pues el valor de temperatura máximo que soportan los material superan muchas de las veces las centenas de grados centígrados, como muestra la Figura 12

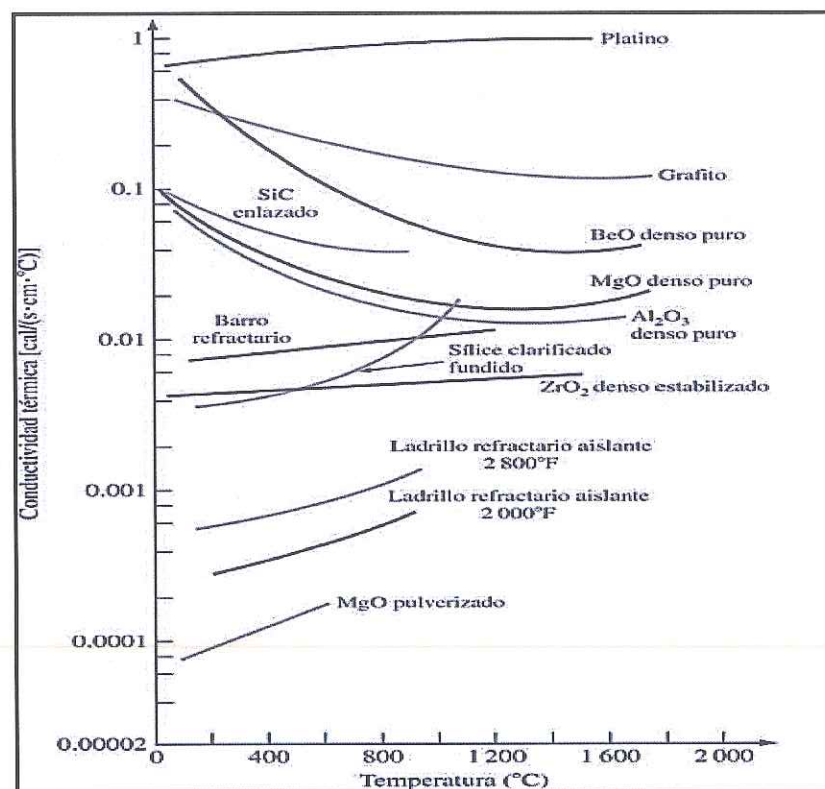


Figura 12. Material VS Temperatura

(Hashemi, 2006)

Basados en la información que brinda la gráfica, justifica el usar una resistencia térmica como la que se constituye del Óxido de Magnesio pues no necesitamos alcanzar altas temperaturas, sin embargo comercialmente es mucho más sencillo y económico encontrar el material Grafito.

En la ecuación [35] muestra el cálculo del grosor de material de la resistencia térmica y ya conociendo el material a usar, se encontró que una resistencia que consume 10 Amperios es idónea para el proyecto.

Dentro de los parámetros eléctricos es necesario poner en consideración las siguientes ecuaciones eléctricas, como:

- **Cálculo de la resistencia eléctrica**

Es necesario para el desarrollo del actual proyecto encontrar el valor de la resistencia, en este caso se conoce que la máquina operará a 220 Voltios y se sabe que consume de 10 Amperios, por ello se puede resolver mediante la Ley de Ohm, como se muestra en la ecuación 13:

$$R = \frac{V}{I} \quad [13]$$

$$R = \frac{220 V}{10 A}$$

*R = 22 Ω este valor de resistencia es considerado como resistencia en caliente*

- **Cálculo de la resistencia en frío**

En temperatura ambiente (20°C) el cálculo de la resistencia se lo resuelve mediante la ecuación 14:

$$R_{20^{\circ}C} = \frac{R_c}{C_t} \quad [14]$$

donde:

*C<sub>t</sub> será sacado de la siguiente tabla.*

**Tabla 13** Tabla de coeficiente de resistividad (C<sub>t</sub>)

Aleación	22.5 PM	22.6	22.5	22.4	14.1
20 °C	1	1	1	1	1

(Patricio Aguirre, 2008)

Para el proyecto tal como se muestra en la Tabla 13 se considerará el valor 1, puesto que es el valor más común para las diferentes aleaciones que existe entre Oro, Plata, Bronce, Tungsteno, Acero, Aluminio, Níquel y Cromo, que son básicamente los minerales que componen las aleaciones mostradas con numeración.

$$R_{20^{\circ}C} = \frac{22}{1}$$

$$R_{20^{\circ}C} = 22 \Omega$$

#### 4.1.3 CÁLCULO DE POTENCIA

A continuación se realizará los respectivos cálculos de potencia tanto del Blower como de la Resistencia Térmica, mediante la resolución de la ecuación 12.

*donde*

$$\cos \varphi = 1$$

- **Potencia eléctrica de la resistencia térmica**

$$P1 = (220 \text{ v})(10 \text{ A})$$

$$P1 = 2,2 \text{ Kw}$$

- **Potencia eléctrica del blower**

$$P2 = (220 \text{ v})(4,8 \text{ A})$$

$$P2 = 1,5 \text{ Kw}$$

#### 4.1.4 CONSUMO TOTAL ELÉCTRICO

El consumo eléctrico para el proyecto será la suma del potencial eléctrico consumido tanto por el blower como por la resistencia térmica, así:

$$PT = P1 + P2$$

$$PT = 2,2 \text{ Kw} + 1,5 \text{ Kw}$$

$$PT = 3,7 \text{ Kw}$$

El tiempo de consumo eléctrico del blower y la resistencia térmica es de 45 minutos, entonces el gasto de energía para dicho tiempo será:

$$\text{Consumo eléctrico 1} = 2,78 \frac{\text{Kw}}{\text{h}}$$



Después se usa por un intervalo de 15 minutos solamente el blower con la finalidad de bajar la temperatura del producto y puede maniobrar con el mismo, para ello el consumo será:

$$\text{Consumo eléctrico 2} = 0,34 \frac{\text{Kw}}{\text{h}}$$

El consumo total por hora sería de:

$$\text{Consumo Total} = \text{Consumo eléctrico 1} + \text{Consumo eléctrico 2}$$

$$\text{Consumo Total} = 3,12 \frac{\text{Kw}}{\text{h}}$$

## 4.2 DISEÑO DE CONTROL

### 4.2.1 SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

- a) El enciende la máquina.
- b) El panel de control se enciende (focos indicadores de marcha o paro y panel del controlador de temperatura), en este momento se encuentra lista la máquina para operar.
- c) Se mueve selector de la izquierda a modo On y empieza a trabajar el blower.
- d) Solo sí, se encuentra operativo el blower se puede activar mediante el selector derecho el encendido de la resistencia térmica (modo On).
- e) Cuando empieza a trabajar la resistencia térmica se puede evidenciar en el panel de control el incremento de temperatura que se lleva a cabo en el proceso, esta última sucede pues existe una constante medición.
- f) La temperatura medida permite que el proceso llegue en el tiempo más corto a su valor ideal.
- g) Cuando el proceso se lleva a cabo con normalidad, después de haber transcurrido el tiempo necesario se debe apagar con el selector derecho la resistencia térmica (modo Off).

h) Nuevamente transcurrido un tiempo prudente, y ya frío la resistencia térmica, con el selector izquierdo se lo gira a modo Off.

#### 4.2.2 DIAGRAMA DE CONTROL DE LA MAQUINA

En el diagrama de control de la máquina se encuentra dividido en tres secciones que son:

- Diagrama de Potencia

Se considera las siguientes partes: Breaker, contactores, la resistencia térmica y el motor

Tal y como se puede apreciar en la Figura 13.

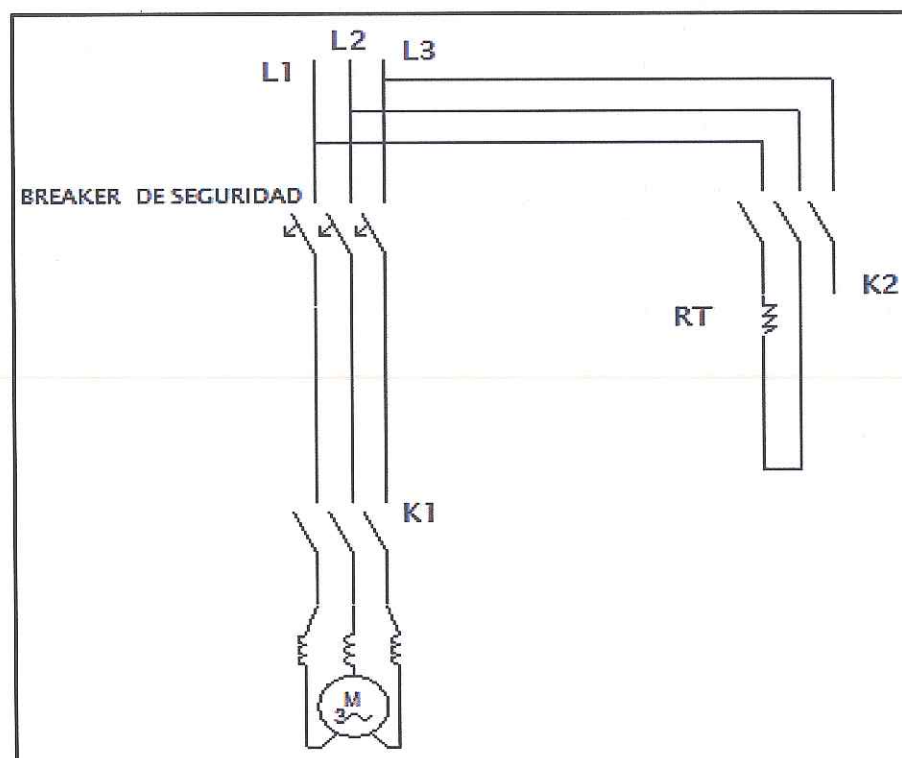


Figura 13. Circuito de Potencia

- Diagrama de Control

En el diagrama de control intervienen, luces de seguridad, contactores, relé, el controlador de temperatura y selectores. Se muestra en la Figura 14.

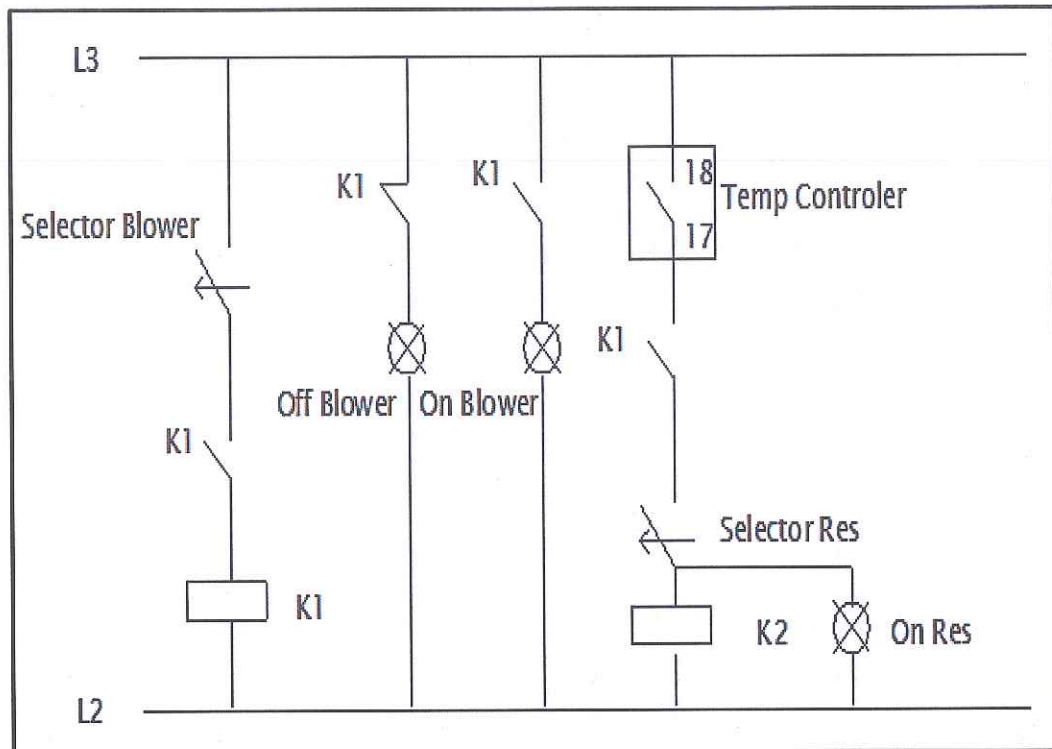


Figura 14. Circuito de control

- **Salida de control On/Off y diagrama de control**

El tipo de configuración de control usado es el método On/Off que es aquel que parte de un valor en el Set Point que justamente es el valor de temperatura máxima que debe alcanzar la máquina (70 °C), una vez fijado este dato el controlador de temperatura en funcionamiento entrará a oscilar en un rango de  $\pm 2$  °C por encima y por debajo del set point, encendiendo la resistencia térmica cuando se encuentre por debajo y apagando la misma cuando se encuentre por encima del valor de máximo de temperatura. En la Figura 15 muestra como es el funcionamiento de un circuito On/Off

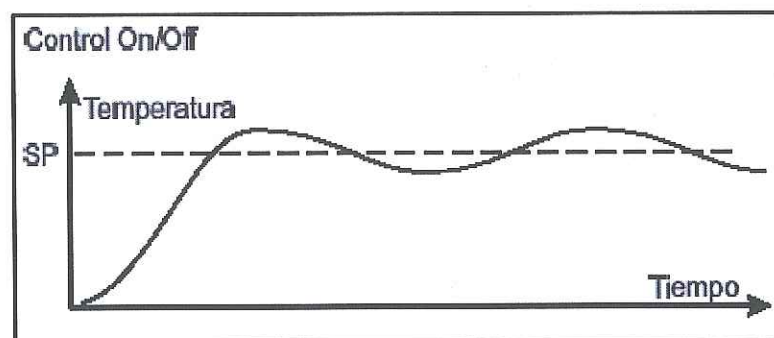


Figura 15. Circuito On/Off

El valor de temperatura constantemente es medido por una termo cupla que se encuentra alojada en el interior del codo de HG y por debajo de la torre de secado

Así de esta manera el controlador de temperatura se depura para su óptimo desenvolvimiento. El controlador de temperatura tiene una conexión tal y como se muestra en la Figura 16.

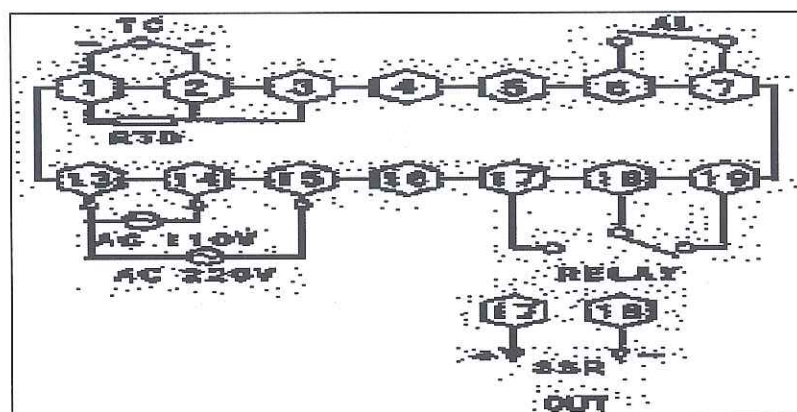


Figura 16. Diagrama del controlador de temperatura (TOKI, 2015)

#### 4.2.3 PARÁMETROS ELECTRICOS Y ELECTRÓNICOS, DISEÑO DE CONTROL

El diseño eléctrico se lo realizó en base a las necesidades que se presentaron en el transcurso de la elaboración del mismo.

La máquina tiene una alimentación de 220 [V] trifásico, el prototipo está conectado mediante cable desde el tomacorriente trifásico al breaker ubicado en el panel.

El breaker tiene por objetivo el funcionamiento como interruptor principal permitiendo o no el paso de corriente para que se alimente la máquina, y a la vez se encuentra conectado de tal forma que se forma una condicional donde si el breaker permite el paso de corriente se abastece de energía el controlador de temperatura y el contactor 1.

Cabe recalcar que las conexiones internas en el tablero se las encuentran hechas con cable flexible.

Cuando se acciona la palanca del primer contactor, da paso al encendido y funcionamiento del blower solo en ese momento se alimenta el tercer contactor que tiene por finalidad permitir el funcionamiento de la resistencia térmica, el contactor 2 y el contactor 3 se encuentran conectados condicionalmente de tal manera que, solo si está funcionando el blower se pueda encender la resistencia térmica caso contrario no encenderá la resistencia, esto se lo realizó con la finalidad de proteger la integridad del usuario y sobre todo para proteger la máquina, pues el valor comercial de la resistencia térmica es considerable.

### **4.3 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO**

En el análisis del comportamiento mecánico se usa programas como Microsoft Excel y MD Solid para realizar los cálculos pertinentes y modelar. Se debe tomar en cuenta el ajuste de piezas y partes de la máquina puesto que de esta manera se evitará la descalibración.

#### **4.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA**

Para poder encontrar los parámetros idóneos de construcción de la estructura es necesario realizar una serie de cálculos en donde se toma en cuenta las cargas estáticas a las que se encuentra sometido el bastidor

#### **4.3.2 DISEÑO A COLUMNA**

Las partes de la máquina que serán sometidos a diseño bajo el método de columna serán los soportes verticales (patas), dichas partes de la estructura deberán ser lo suficientemente robustas y ligeras como para soportar el trabajo. Las paredes o columnas son de vital importancia para el esquema propuesto, puesto que sobre las mismas recaen la mayor cantidad de peso de la máquina cuando este ya armada. Al diseñar en el método de columna se denota que puede existir pandeo en las mismas, es por ello que se toma todas

las medidas pertinentes para que no exista tal cuando se encuentre ya armado el bastidor.

Se considera que el bastidor podrá tener un principio de cubo metálico, por lo tanto el peso real de la máquina está distribuido en 4 columnas tal como muestra la Figura 17, lo que quiere decir que cada una de los soportes verticales debe estar diseñado para los siguientes datos presentados en la Tabla 14.

**Tabla 14** Detalles de pesos de las piezas de la máquina

DETALLE DE LA PARTE DE LA MÁQUINA	PESO (KG)
Motor	4,00
Neplo 50 mm	1,00
Bushing de 75 mm a 50 mm	0,50
Bushing de 110 mm a 75 mm	0,25
Neplo de 110 mm	0,50
Codo HG de 110 mm	0,25
Brida de Acero	0,50
Torre de Secado	14,25
Persona para Mantenimiento	50,00
<b>Total</b>	<b>71,25</b>



**Figura 17.** Pandeo de Columna  
(Robert L. Mott, 2006)

## Datos de Peso

P=71,25 kg total lo que significa que en cada pata se distribuye 17,81 kg

## Datos del Acero A36 (Robert L. Mott, 2006)

$$E = 2,109 \times 10^6 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$S_y = 2,531 \times 10^3 \frac{Kg}{cm^2}$$

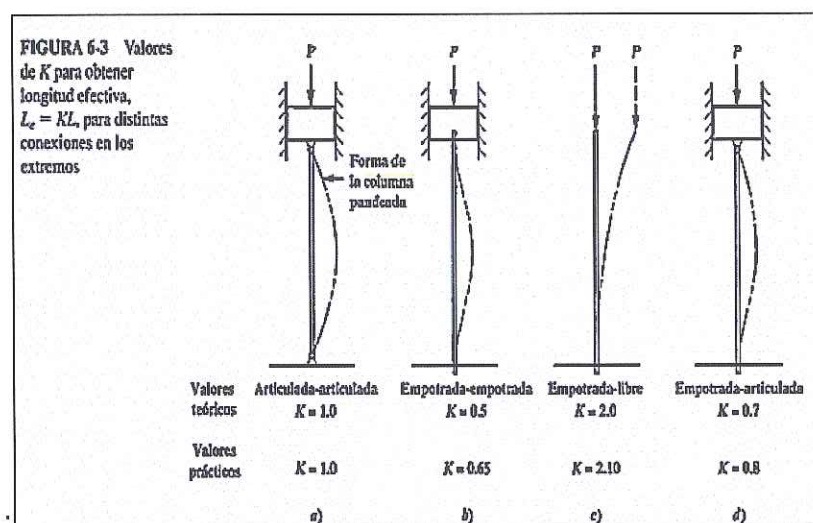
## Datos de Longitud de Columna

L=40 cm

### • Relación de Esbeltez

La relación de esbeltez es aquella donde se relaciona  $(kL/r)$  que son de los miembros comprimidos axialmente o flexo comprimido se determina con la longitud efectiva  $(kL)$  y el menor radio de giro de la sección transversal.

Existen varios tipos de relación de esbeltez como se muestran en la Figura 18, sin embargo para el caso del diseño actual, se lo realizará en el método Empotrado-Libre. Pero para poder seguir con el diseño se necesita encontrar cierta información que debe resolverse como se muestra en la ecuación 15, según (Robert L. Mott, 2006)



**Figura 18.** Tipos de Relación de Esbeltez  
(Robert L. Mott, 2006)

$$Re = \frac{Le}{Rmin} \quad [15]$$

$$Re = \frac{40 \text{ cm}}{Rmin},$$

**Nota:** La ecuación de Relación de Esbeltez aún debe calcularse

- **Constante de Columna**

La ecuación relaciona las características del material a usar, en este caso el Acero A-36 que tiene las características anteriormente citadas, y se resuelve tal como se muestra en la ecuación [16]. (Robert L. Mott, 2006)

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_Y}} \quad [16]$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \left(2,109 \cdot 10^6 \frac{Kg}{cm^2}\right)}{\left(2,531 \cdot 10^3 \frac{Kg}{cm^2}\right)}}$$

$$C_c = 128,25$$

Para poder encontrar el diseño correcto se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Si  $Re \gg C_c$  es la columna es larga
- Si  $Re \ll C_c$  es la columna es corta

- **Peso Critico**

No es más que la relación que existe entre el peso real a soportar por el factor de seguridad que se le quiera implementar a la máquina, ecuación 17:

$$P_{adm} = \frac{P_{crit}}{N} \quad [17]$$

$$P_{crit} = P_{adm} \cdot N$$

donde:

*N* es factor seguridad;

$N = 3$  para diseño de maquinas (Robert L. Mott, 2006)

reemplazando:

$$P_{crit} = 213,75 \text{ Kg}$$



Se asume el método de resolución de columna larga

- **Columna larga**

Al momento de asumir columna larga para diseñar ecuación [18] significa que se trabajará bajo el diseño y la ecuación de Euler

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L)^2} \quad [18]$$

$$I = \frac{P_{crit} \cdot (K \cdot L)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

donde  $K$  es una constante para columnas empotrada – libre

$$I = \frac{213,75 \text{ Kg} \cdot ((2,10)(40 \text{ cm}))^2}{\pi^2 \left( \left( 2,109 \cdot 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) \right)}$$

$$I = 0,072 \text{ cm}^4$$

En la Figura 19 se procede a verificar el catálogo de IPAC con respecto a  $I$  que es el Momento de Inercia y así encontrar el radio de giro ( $R_{min} = i$ )

Tubería Estructural Cuadrada		Propiedades Estáticas				
Designaciones	Área	Peso	Eje x-x = y-y			
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,74
	2,00	1,34	1,05	0,69	0,69	0,72
25	1,50	1,35	1,06	1,41	1,11	0,97
	2,00	1,74	1,36	1,48	1,18	0,92
30	1,50	1,65	1,30	2,19	1,46	1,15
	2,00	2,14	1,68	2,71	1,81	1,12
	3,00	3,01	2,36	3,50	2,34	1,08
40	1,50	2,25	1,77	5,48	2,74	1,56
	2,00	2,94	2,31	6,92	3,46	1,53
	3,00	4,21	3,30	9,28	4,64	1,48
50	1,50	2,85	2,24	12,56	4,92	2,01
	2,00	3,74	2,93	14,13	5,65	1,94
	3,00	5,41	4,25	19,40	7,76	1,89
60	1,50	3,45	2,71	18,94	6,31	2,43

Largo Normal:  
6 metros  
Recubrimiento:  
Negro o Galvanizado  
Norma de Calidad:  
ASTM A 500 Gr. A, B ó C  
Norma de Fabricación:  
NTE INEN 2415  
Espesores:  
Desde 1,50 a 6,00 mm  
Observaciones:  
Otras dimensiones, espesores y largos previa consulta

Figura 19. Tubería cuadrada catálogo IPAC.

$$i = 0,74 \text{ radio de giro perfil de estructura } 20 \text{ mm}$$

Una vez encontrado el valor más cercano al calculado se procede a escoger ese perfil para dimensionar la máquina.

$$Re = \frac{Le}{Rmin} \quad [19]$$

$$Re = \frac{LK}{Rmin}$$

$$Re = \frac{2,10(40 \text{ cm})}{0,74}$$

$$Re = 113,51$$

Al constatar la condición:

Si  $Re \gg Cc$  es la columna es larga, se puede observar que no cumple, por este motivo se procede a resolver por el método de columna corta

- **Columna corta**

La columna corta se encuentra bajo las ecuaciones de diseño de Johnson y se la resuelve de la siguiente forma, ecuación [20]:

$$P_{crit} = A \cdot S_y \left[ 1 - \frac{S_y \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad [20]$$

$$P_{crit} = (1,05 \text{ cm}^2) \left( 2,532 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) \left[ 1 - \frac{2,532 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \left( \frac{(2,10) \cdot (40 \text{ cm})}{0,74 \text{ cm}} \right)^2}{(2,109 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2})} \right]$$

$$P_{crit} = 2,65 \times 10^3 \text{ Kg}$$

$P_{crit} \text{ calculado} \gg P_{crit} \text{ dato}$

### 4.3.3 DISEÑO DE LA VIGA

La siguiente resolución de ecuaciones se la realiza por que es necesario tener en cuenta que fuerzas pueden estar influyendo en el diseño, se debe recordar que la estructura tiene forma de cubo metálico por ende existen partes de la máquina que se encuentran en forma de vigas y se debe tomar en cuenta:

### Datos de Peso

$P_1 = 10 \text{ Kg}$  valor material Figura 18,  $\text{distA-P}_1 = 749,3 \text{ mm}$

### Datos de Carga Distribuida

$W_1 = 15 \text{ Kg/mm}$  valor explicado Tabla 14,  $\text{distA-W}_1 = 840,2 \text{ mm}$

### Longitud de la Viga

1000 mm

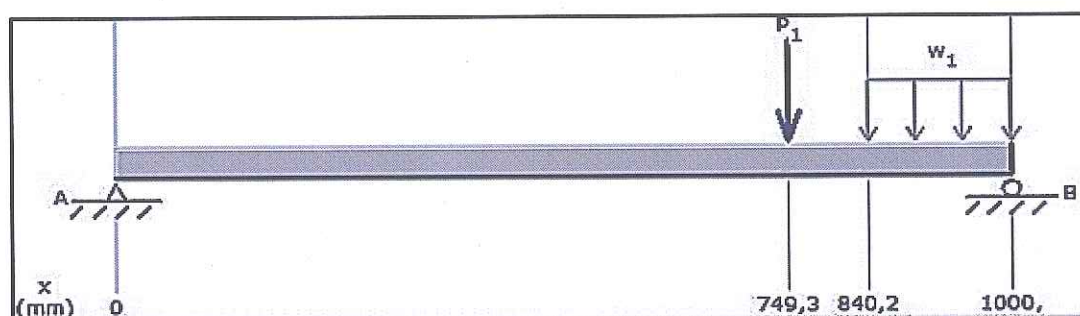


Figura 20. Datos de Viga

La Figura 20 explica con más detalle que fuerzas se encuentra sometido la viga.

- **Cálculo de carga distribuida**

Es necesario calcular el valor correspondiente de la carga distribuida, para ello se resuelve de la siguiente manera, ecuación [21]:

$$W_1 = b \cdot h \quad [21]$$

$$W_1 = 159,8 \text{ mm} \left( 15 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}} \right)$$

$$W_1 = 2397 \text{ Kg}$$

- **Sumatoria de fuerzas en Y, ecuación[22]**

$$E f_y = 0 \quad [22]$$

$$R_a + R_b - P_1 - W_1 = 0$$

$$R_a + R_b = 2407 \text{ Kg}$$

- Sumatoria de Momentos en B, ecuación[23]

$$Em_{B\ izq*} = 0 \quad [23]$$

$$P_1(249,94\ mm) + 2397\ Kg\ (80,01\ mm) = Ra(1000\ mm)$$

$$2499,4\ Kg\ mm + 191,78 \times 10^3\ Kg\ mm = 1000\ Ra\ mm$$

$$Ra = 194,28\ Kg$$

$$Rb = 2212,72\ Kg$$

La Figura 21 muestra las gráficas y valores correspondientes a las fuerzas y esfuerzos a los que se encuentran sometidos el material, exactamente para aquellos elementos que están en sentido horizontal, en forma de viga.

También es necesario demostrar con cálculos los valores los esfuerzos máximos que soporta el material, los mismos que se encuentran a continuación.

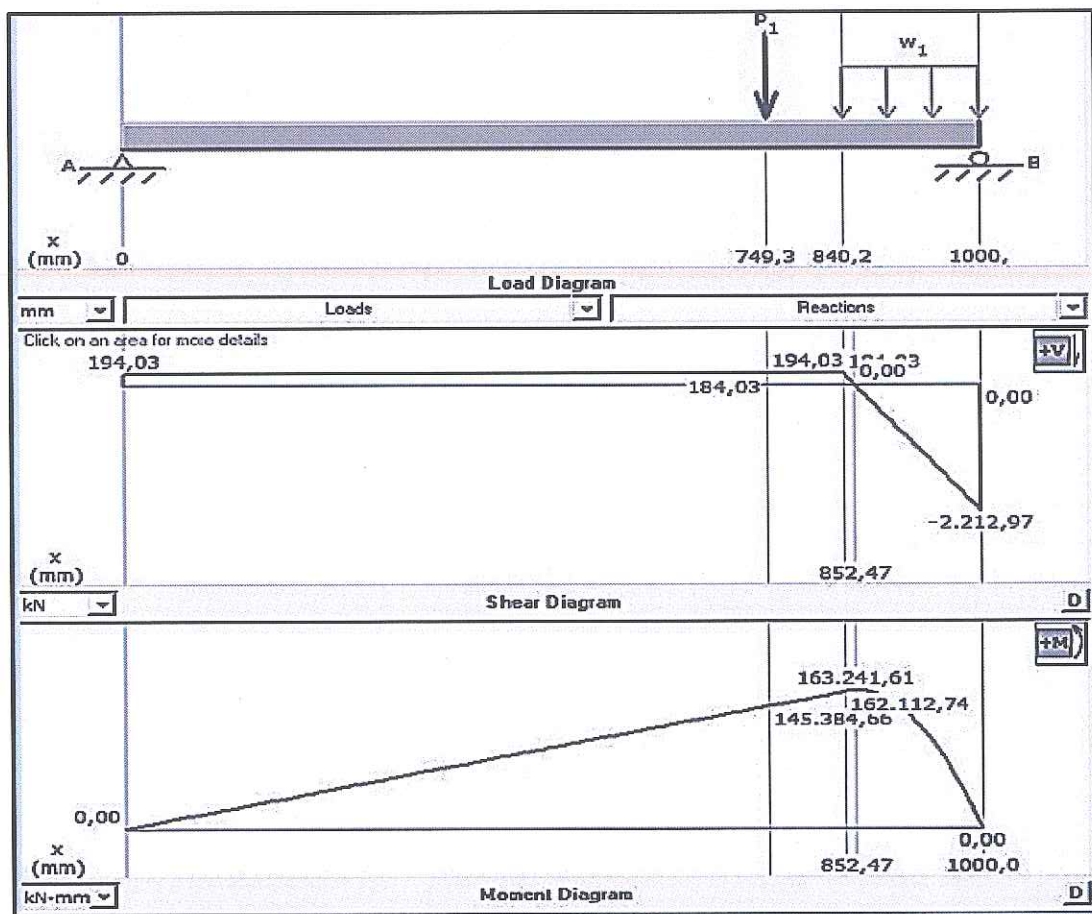


Figura 21. Diagrama Fuerza – Momentos

- **Esfuerzo Máximo del Material Para la Estructura**

Una vez encontrados los valores de fuerza a los que se encuentran sometidos los puntos A y B de la viga es necesario tomar en cuenta el valor de esfuerzo máximo que pueden soportar dichos puntos antes de que se produzca un corte por falla del material.

Las ecuaciones para resolver este punto están descritas a continuación, ecuación [24]:

**Dato de Área del perfil según catálogo IPAC**

$$\text{Área} = 1,05 \text{ cm}^2 = 1,05 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$T = \frac{F \text{ corte}}{A \text{ corte}} \quad [24]$$

$$Ta = \frac{Ra}{\text{Área}}$$

$$Ta = \frac{194,28 \text{ Kg}}{1,05 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$Ta = 1,85 \times 10^6 \text{ N}$$

$$T = \frac{F \text{ corte}}{A \text{ corte}}$$

$$Ta = \frac{Ra}{\text{Área}}$$

$$Ta = \frac{2212,72 \text{ Kg}}{1,05 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$Ta = 21,07 \times 10^6 \text{ N}$$

#### 4.3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DE SECADO

- **Densidad Aparente**

Para la resolución de la siguiente ecuación, se debe tomar en cuenta que existe una constante que es la del Volumen de granos de poros ( $V_s$ ) y cuyo valor es igual a  $0,001455(m^3)$  (Library, 2005).

De esta manera, ecuación [25]:

$$\rho_{ap} = \frac{\text{Masa del grano (kg)}}{\text{Volumen de granos con poros (m}^3\text{)}} \quad [25]$$

$$\rho_{ap} = 620 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{ap} = \frac{0,5 \text{ Kg}}{0,001455 \text{ m}^3}$$

$$\rho_{ap} = 687,29 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

- **Porosidad Mínima  $\varepsilon_0$  y de Mínima Fluidización**

Son valores afectados directamente por el tamaño y forma de grano, tomando en cuenta parámetros promedios como el tamaño de 15 cribas tenemos los siguientes datos:

$$\varepsilon_0 = 0,3 \quad \varepsilon_{mf} = 0,476$$

- **Esfericidad o Factor de Forma**

En experimentos que se han efectuado se ha llegado a la conclusión que el factor referencial es:

$$\varphi = 0,66$$

- **Tabla de Parámetros**

La Tabla 15 muestra los parámetros y características del Café

**Tabla 15. Parámetros del Café**

PARÁMETROS	SÍMBOLOS	VALOR
Tamaño	$\phi_p$	6 mm
Factor de Forma	$\varphi$	0,66
Densidad Real	$\delta r$	343,64 $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
Densidad Aparente	$\delta a$	620 $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
Porosidad Mínima	$\varepsilon_0$	0,3
Porosidad de lecho a mínima fluidización	$\varepsilon_{mf}$	0,476

- **Datos del Aire**

La Tabla 16 muestra parámetros de relevancia que son necesarios para el desarrollo de los cálculos de las posteriores ecuaciones.

**Tabla 16. Parámetros del Aire**

PARÁMETROS	SÍMBOLOS	VALOR
Presión	$P$	1 atm
Temperatura Ambiente	$T$	18 °C
Viscosidad	$u$	1,85x10-5 Pa.s
Densidad	$\delta$	1,18 $\frac{Kg}{m^3}$

- **Velocidad Mínima de Fluidización**

Consiste en la rapidez a la cual el producto pasa de estar estático a un momento en donde sea constante de fluidización.

- **Cálculo del Número de Reynolds**

La siguiente ecuación tiene como resultado un número adimensional, la ecuación relaciona la densidad, viscosidad, velocidad, dimensión típica de un flujo. Se podría decir que el número de Reynolds es una situación definida por la ecuación [26]:

$$N_{re,mf} = \sqrt[2]{\left[ (33,7^2) + 0,0408 * \frac{\phi_p^3 m^3 * \delta \frac{Kg}{m^3} * (\delta r - \delta) \frac{Kg}{m^3} * g \frac{m}{s^2}}{u^2 * Pa.s^2} \right]} - 33,7 \quad [26]$$

$$N_{re,mf} = \sqrt[2]{\left[ (33,7^2) + 0,0408 * \frac{0,006^3 m^3 * 1,18 \frac{Kg}{m^3} * (687,29 - 1,18) \frac{Kg}{m^3} * 9,80665 \frac{m}{s^2}}{(1,85 * 10^{-5})^2 * Pa.s^2} \right]} - 33,7$$

$$N_{re,mf} = 419,71$$

- **Cálculo de la Velocidad de Fluidización**

La ecuación [27] tiene como resultado el valor de la velocidad de Fluidización:

$$V_{mf} = \frac{N_{re,mf} * u(Pa.s)}{\phi_p(m) * \delta \frac{Kg}{m^3}} \quad [27]$$

$$V_{mf} = \frac{419, * (1,85 * 10^{-5}) * Pa.s}{0,006(m) * 1,18 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V_{mf} = 1,10 \frac{m}{s}$$

- **Velocidad Límite del lecho**

La ecuación [28] sirve para encontrar el valor de velocidad máxima que haría que los granos se expulsen del prototipo.

$$V_{lim} = \frac{2,32 * V_{mf} \frac{m}{s}}{\epsilon_{mf}^{\frac{3}{2}}} \quad [28]$$

$$V_{lim} = \frac{2,32 * 0,75 \frac{m}{s}}{(0,476)^{\frac{3}{2}}}$$

$$V_{lim} = 7,77 \frac{m}{s}$$

Lo que quiere decir que la velocidad será 8 [m/s]

- **Altura inicial del Lecho**

A continuación se muestra la longitud del lecho calculado bajo la siguiente ecuación [29].

En el Lecho Fluidizado va a llegar un punto en donde deje de ser constante la velocidad y en cambio empiece a aumentar de forma constante, como se lo representa en la Figura 22 y el respectivo cálculo se encuentra detallado posteriormente.

$$L_i = \frac{\text{Peso Kg}}{\delta a \frac{Kg}{m^3} * A_{trans} m^2} \quad [29]$$



$$L_i = \frac{1 \text{ Kg}}{620 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (\pi * 0,08 \text{ m})^2}$$

$$L_i = \frac{1 \text{ Kg}}{620 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (0,063 \text{ m})^2}$$

$$L_i = 0,41 \text{ m}$$

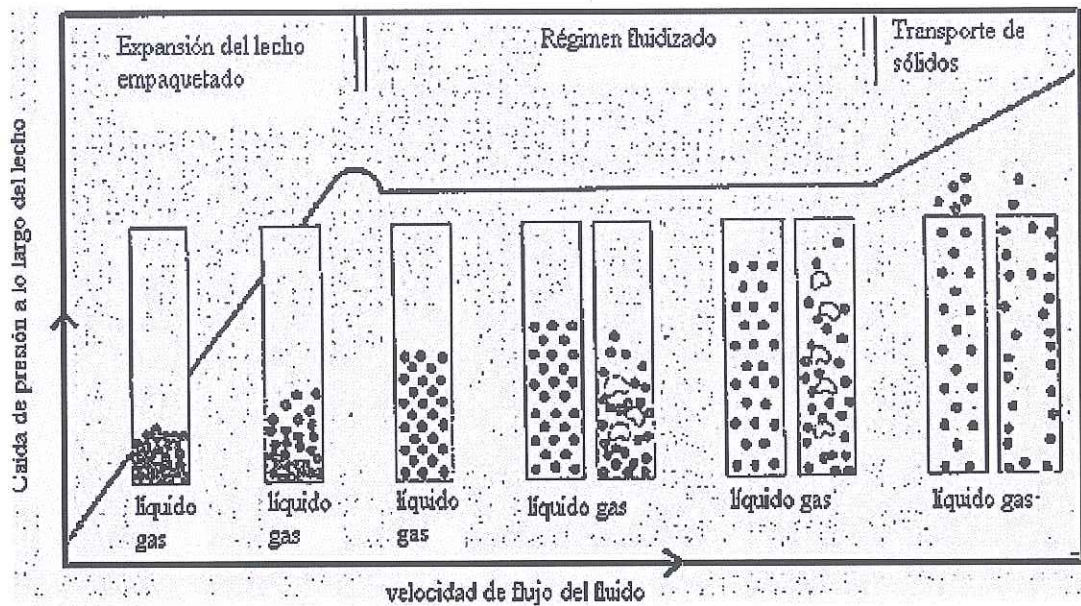


Figura 22. Gráfica Velocidad vs Presión en el lecho fluidizado  
(McCabe, 1991)

- **Altura mínimo de Fluidización del lecho**

La ecuación [30] relaciona la porosidad y la altura del lecho, de la siguiente manera:

$$L_{minf} = \frac{1-0,3}{1-0,476} * 0,41 \text{ m} \quad [30]$$

$$L_{minf} = 0,55 \text{ m}$$

- **Cálculo de Pared Delgada del Lecho Fluidizado**

Es necesario saber si la presión que se ejerce dentro de la torre de lecho fluidizado será soportado por las paredes del mismo, esto se lo comprueba mediante la ecuación [31].

$$\frac{D_o}{t} \geq 20 \quad [31]$$

donde:

$D_o$  = diámetro interior

$t$  = espesor del material

$$\frac{200}{4} \geq 20$$

$$50 \geq 20, \text{ si cumple}$$

- **Cálculo de la Presión en el Lecho Fluidizado**

Después de encontrar que el material soporta la condición de pared delgada, es imperativo encontrar la presión a la que se encuentra sometida las paredes en la torre del lecho fluidizado, mediante la ecuación [32]

$$\Delta p = \frac{\delta \cdot \mu \cdot l \cdot v^2}{2D} \quad [32]$$

donde:

$$\delta = \text{densidad} \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$\mu$  = coeficiente de fricción

$v$  = velocidad del aire

$l$  = longitud del lecho

$D$  = diámetro interno del lecho

$\Delta p$  = caída de presión

$$\Delta p = \frac{\left(1,18 \frac{Kg}{m^3}\right) (0,02) (1m) \left(7,77 \frac{m}{s}\right)^2}{2(0,2 m)}$$

$$\Delta p = 3,56 \frac{Kg}{m \cdot s^2}$$

- **Esfuerzo Máximo del Material Para la Torre de Lecho Fluidizado**

Una vez demostrado que el material si cumple la condición de cálculo de pared delgada, se procede a calcular el esfuerzo máximo del material mediante la ecuación [33]

$$\delta = \frac{p \cdot Dm}{4t} \quad [33]$$

donde:

$p$  = presión

$Dm$  = diámetro medio

$t$  = espesor del material

$$\delta = \frac{3,56 \frac{Kg}{m \cdot s^2} \cdot (0,203 m)}{4(0,05 m)}$$

$$\delta = 3,61 \frac{Kg}{m \cdot s^2} = 3,61 Pa$$

Dentro de las ecuaciones a resolver es muy importante tomar en cuenta la ecuación de transferencia de calor por convección, puesto que la máquina se encuentra diseñada para secar los granos de café bajo este método

En la Tabla 17 que es tomada de la base de datos del programa SolidWorks, y que es con la misma que el programa modela.

**Tabla 17** Coeficientes de transferencia comunes

Medio	Coefficiente de transferencia de calor $h$ ( $W/m^2 \cdot K$ )
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60.000
Vapor (en condensación)	6000-120.000

- **Conductividad térmica**

Esta ecuación [34] explica el flujo de calor estable de una unidad de área de un material homogéneo inducido por un flujo de temperatura en una dirección perpendicular

$$k = q \left( \frac{L}{\Delta T} \right) \quad [34]$$

donde:

$L$  = grosor del especimen (m)

$T$  = temperatura ( $^{\circ}K$ )

$q$  = velocidad de flujo de calor  $\left( \frac{W}{m^2} \right)$

Al ser el aire el que realiza la conductividad térmica sin traspasar ningún otro material se puede asumir el valor de la Tabla 18 respecto a la conductividad térmica del aire

**Tabla 18** Conductividad térmica del aire

Metales, a 25°C		Gases, a 20°C		Otros materiales	
Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)	Sustancia	k (W/mK)
Aluminio	238	Aire	0.0234	Asbesto	0.08
Cobre	397	Helio	0.138	Concreto	0.8
Oro	314	Hidrógeno	0.172	Diamante	2300
Hierro	79.5	Nitrógeno	0.0234	Vidrio	0.84
Plomo	34.7	Oxígeno	0.0238	Hule	0.2
Plata	427			Madera	0.08 a 0.16
Latón	110			Corcho,	0.42
				Tejido humano	0.2
				Agua	0.56
				Hielo	2

$$k = 0,0234 \left( \frac{W}{mK} \right)$$

- **Resistencia térmica**

Se define como la diferencia de temperatura, entre dos superficies definidas de un material que induce la velocidad de flujo de calor, como se demuestra en la ecuación [35].

$$R = \frac{L}{k} \quad [35]$$

$L$  = grosor del especimen (m)

$k$  = conductividad térmica  $\left( \frac{W}{mK} \right)$

$$R = \frac{0,1 \text{ m}}{0,0234 \left( \frac{W}{mK} \right)}$$

$$R = 4,2735 \left( \frac{W}{m^2 K} \right) \text{ que aproximadamente será } 5.$$

**Nota:** Comercialmente es más sencillo conseguir con diámetro de 5 la resistencia térmica.

- **Transferencia de calor por convección**

Este tipo de transferencia ocurre cuando un elemento se encuentra en un medio fluido e intercambian temperatura, para el caso del proyecto el elemento es el café, y el medio de fluido es el aire, como se demostró en la ecuación [3]:

**Datos:**

$$Q = 20 \frac{W}{m^2 * ^\circ K} * (4 * \pi * r^2) * (70^\circ C - 20^\circ C)$$

$$Q = 20 \frac{W}{m^2 * ^\circ K} * (0,075m^2) * 323,15^\circ K$$

$$Q = 0,7309 W$$

Si tiempo de secado promedio es una hora, el consumo queda de la siguiente manera:

$$E_{Q1} = 0,7309 \frac{W}{h}$$

En este punto se debe hacer el cálculo del consumo energético para poder sumar a la respuesta anterior. Como se muestra en la ecuación [35]

$$I = \frac{P}{V} \quad [35]$$

$$P = I * V$$

$$w = 10 * 220$$

$$E_{Q2} = w = 2200 \frac{W}{h}$$

#### 4.3.5 MODELADO EN PROGRAMAS CAD

La máquina fue modelada con el programa SolidWorks versión 2012.

En la Figura 23 se demuestra cómo fue modelado la máquina mediante el programa, los planos de construcción se adjunta en la sección de anexos.

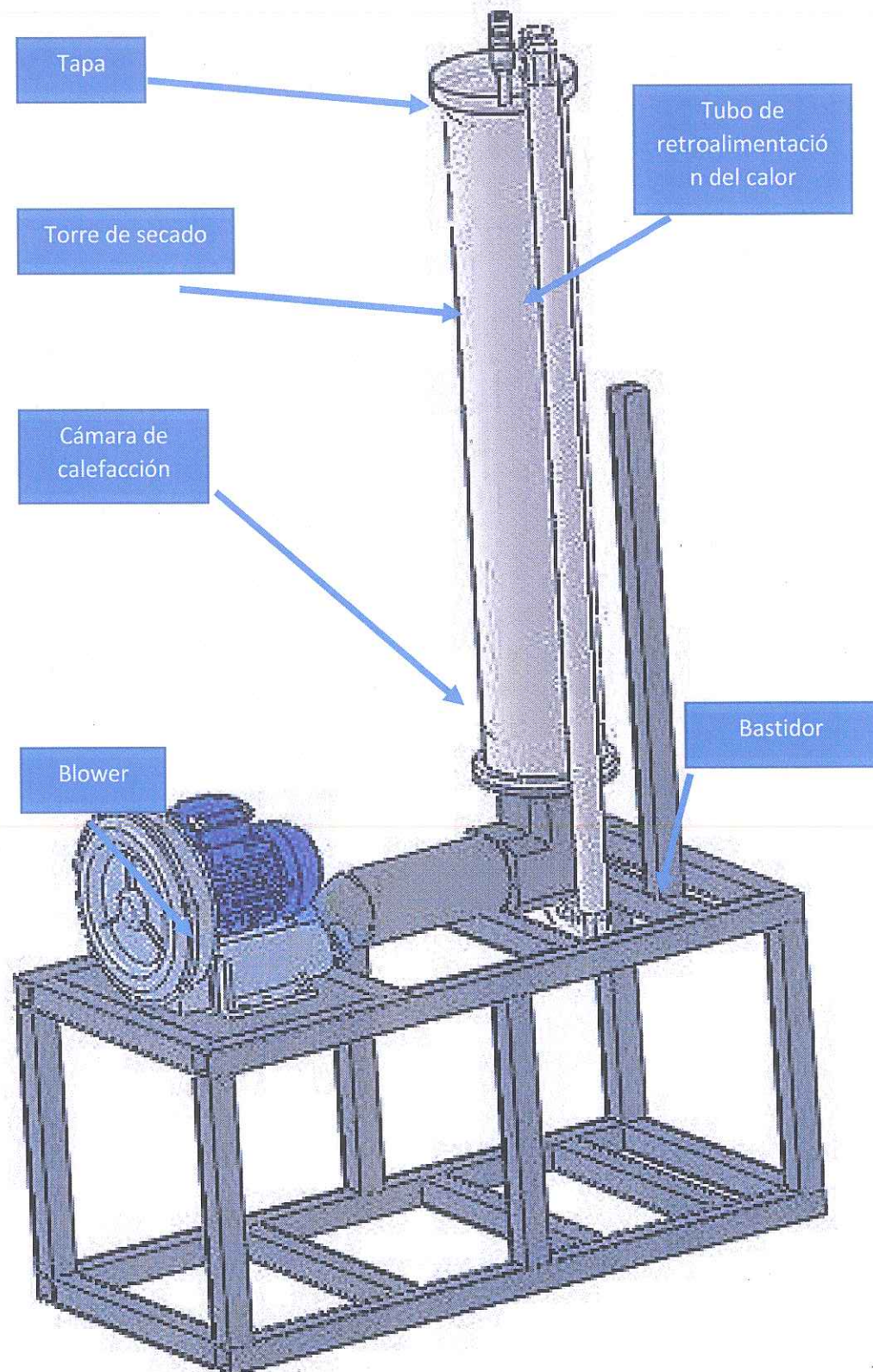


Figura 23. Modelado en SolidWorks

#### 4.4 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLADO DEL SECADOR DE GRANOS DE CAFÉ POR FLUIDIZACIÓN

A continuación se detalla cómo se fueron conformando las piezas en ensamblando para la construcción del prototipo.

En primer lugar se procederá a demostrar el armado de la máquina y como se va uniendo las piezas, de la siguiente forma:

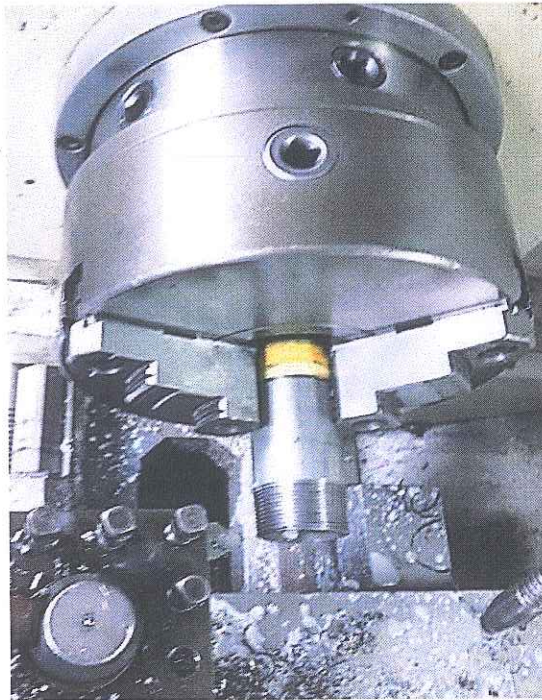


**Figura 24.** Cámara de calefacción

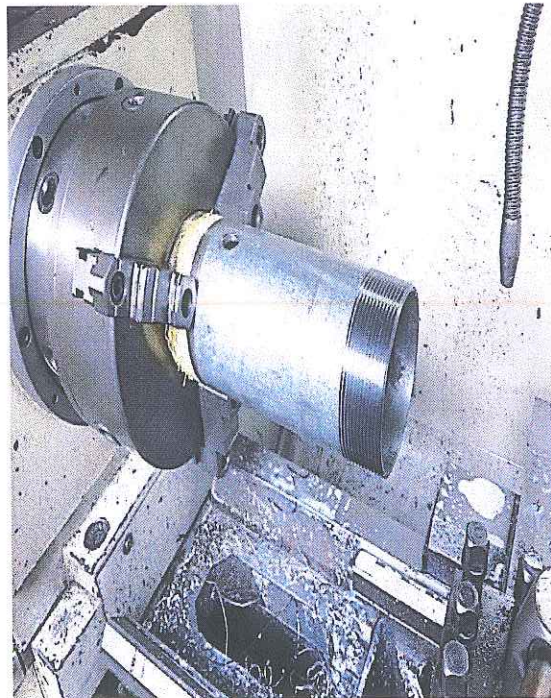
La cámara de calefacción mostrada mediante la Figura 24 está conformada de un neplo HG de  $D=50$  mm que va conectado desde la salida del blower.

Se usa dos reductores de Hg de 110 mm a 75 mm y de 75 mm a 50 mm invertidos con la intención de amplificar el diámetro de la cámara de secado con el último diámetro mencionado.

La Figura 25 indica el fresado realizado en el neplo de la salida del blower. La Figura 26 indica las perforaciones realizadas para acoplar la resistencia térmica, de igual manera se puede apreciar el fresado en este caso sobre la cámara de calefacción.



**Figura 25.** Fresado neplo salida del blower



**Figura 26.** Fresado de la cámara de calefacción

La Figura 27 muestra cómo se ensambla el blower y la cámara de calefacción, para evitar que existan fugas de aire se usa teflón y pegamento de tubos, de esta manera se minimiza los escapes de aire.





**Figura 27.** Ensamblaje blower y cámara de calefacción

Para el bastidor que soportará el blower, la cámara de calefacción y la torre de secado se usará la estructura metálica diseñada y explicada con anterioridad.

Cabe recalcar que las piezas de la estructura son unidas mediante puntos de soldadura los mismos que se realizaron mediante los electrodos 6011, para un mayor entendimiento de las características de este tipo de electrodo usado, verificar Figura 28.

#### **Información Electrodo 6011**

- **Aplicaciones:**

Electrodo para propósitos generales, fabricación de herrería, estructuras ligeras, calderas, tanques, hierro dulce en general.

- **Características:**

Electrodo celulósico de alta penetración, todas posiciones, tiene característica mecánica muy superiores a electrodos de su tipo, buena tenacidad a temperaturas bajo cero.

- **Procedimiento:**

- Quite la suciedad y grasa así como material fatigado.

- Use un arco corto y deposite cordones rectos sin oscilar, quite la escoria entre pases.
- **Datos técnicos:**
  - Presentación: Electrodo (SMAW)
  - Resistencia a la Tensión: 73,500 Libras/Pulg<sup>2</sup>
  - Tipo de Corriente: CA o CD Electrodo Positivo (Polaridad Inversa)

▼	<b>Numeración de electrodos - Revestimientos</b>
Para los diferentes tipos de revestimiento nótese que los electrodos tipo:	
E-6010 y E-6011	tienen un revestimiento con alto contenido de materia orgánica (celulosa).
E-6013	tienen un revestimiento con alto contenido de óxido de rutilo (titanio).

**Figura 28. Tipos de Electroodos**  
(AGA, 1904)

Una vez armado la estructura, se empieza a montar sobre la misma el ensamblaje del blower y la cámara calefacción Figura 29, 30 y 31 ya asegurado esta parte de la máquina se coloca la primera brida con la cual se unirá la torre de secado.



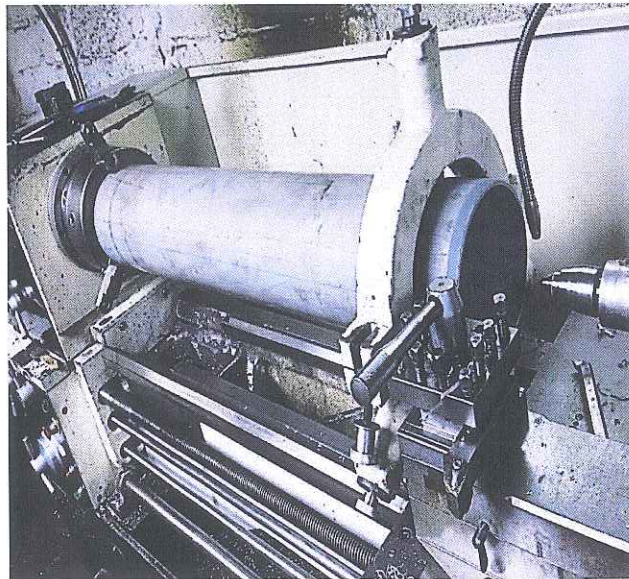
**Figura 29. Armado de la estructura base**



Figura 30. Armado de la estructura base 2

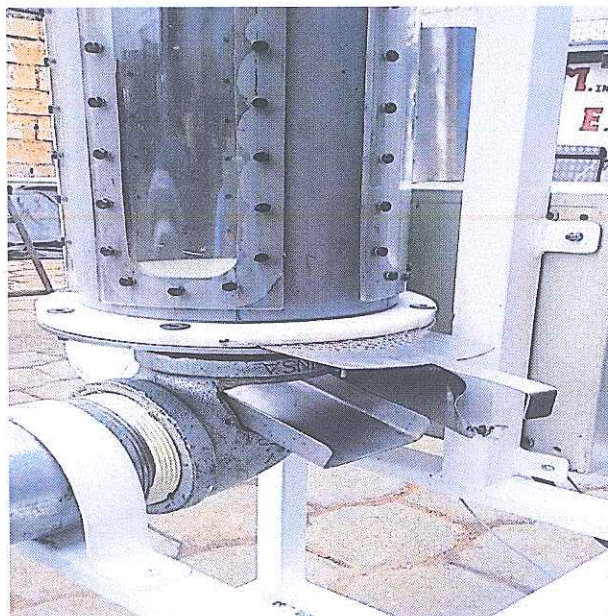


Figura 31. Ensamble base, blower y cámara de calefacción



**Figura 32.** Fresado de la torre de secado

Una vez ensamblado la primera parte de la máquina se procede a realizar los trabajos de fresado sobre lo que va a ser la torre de secado, como se aprecia en la Figura 32. Una vez que se acaba con el fresado se empezara a cortar las mirillas para poder observar el secado de los granos.

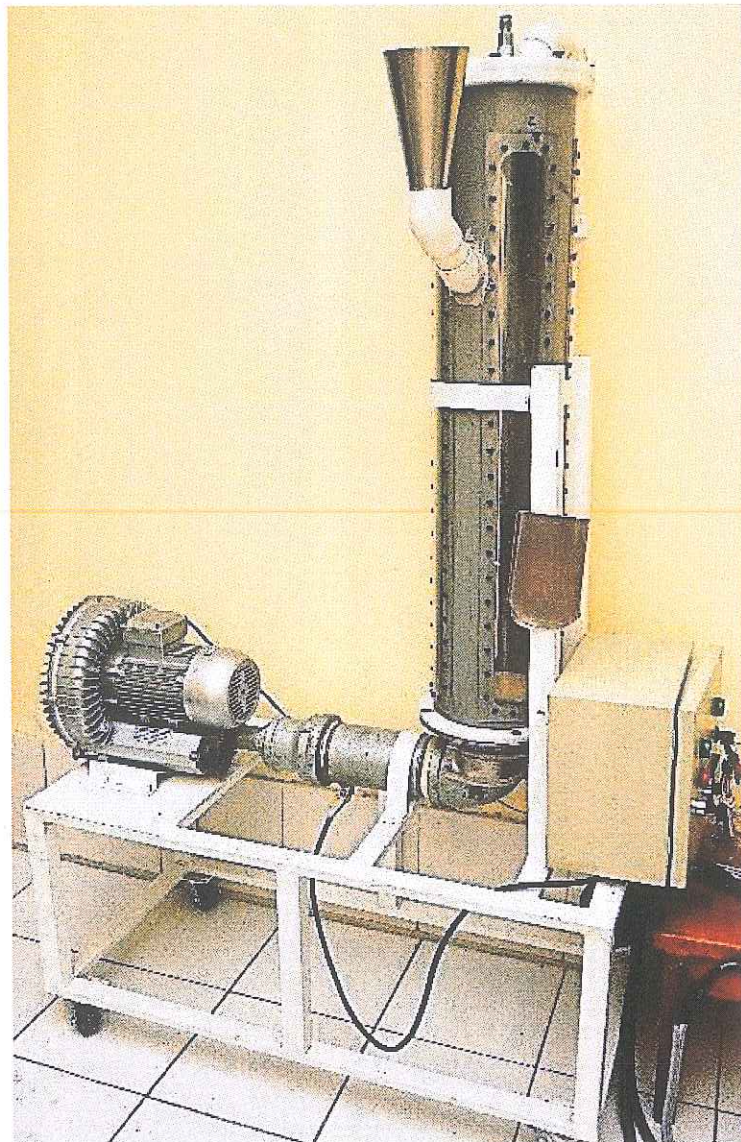


**Figura 33.** Ensamblado de la torre de secado

Como se puede aprecia en la Figura 33 las mirillas serán hechas de acrílico de 6 mm de espesor, pues si se usa acrílicos más delgados el calor le funde, las mirillas serán unidas exteriormente mediante tornillos. Los cuatro cortes realizados longitudinalmente en el tubo tienen por medidas 850 mm x 60 mm

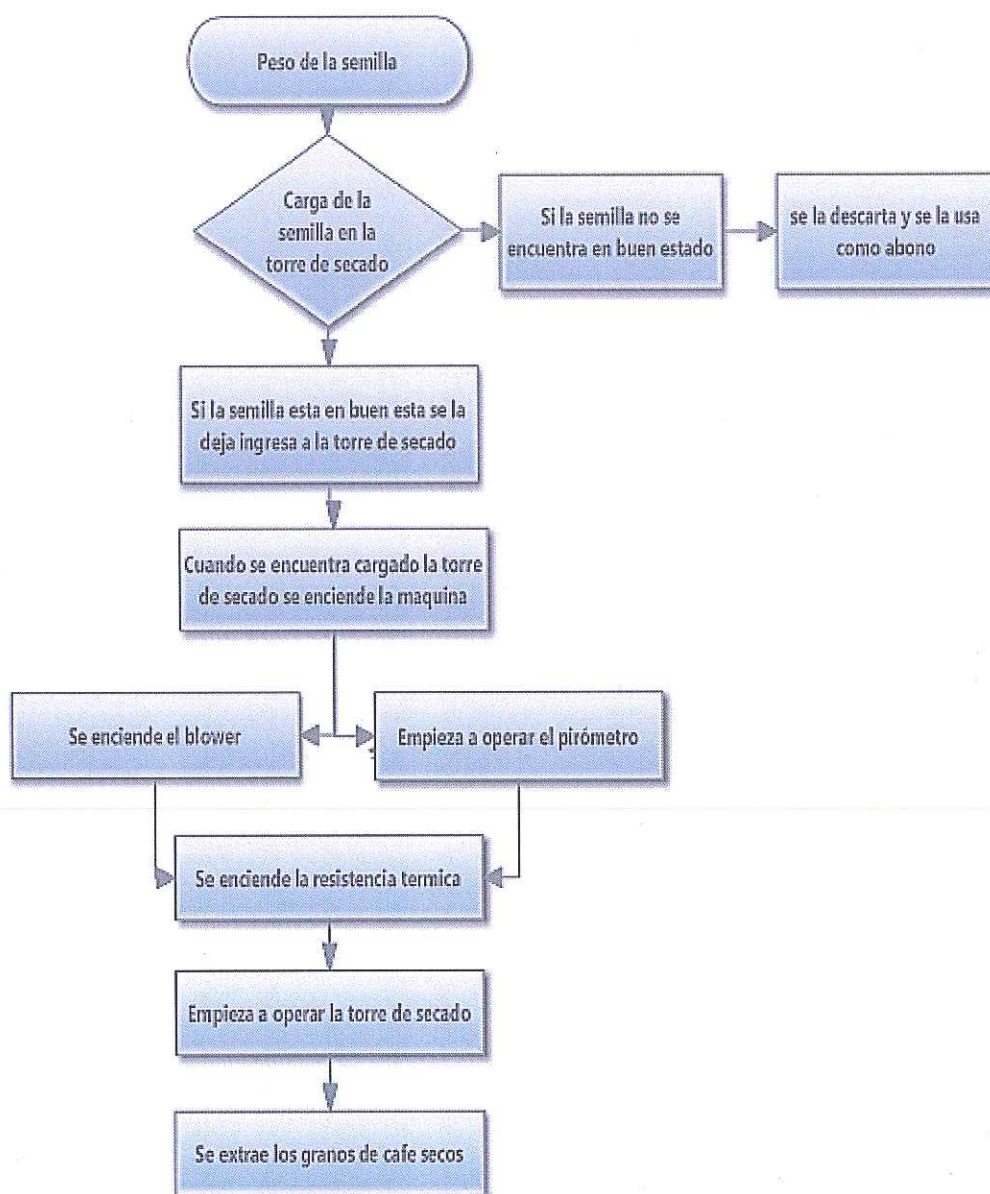
y tiene por objetivos el demostrar el proceso que se lleva a cabo dentro de la torre de secado. También se consideración la forma más sencilla de ingresar el café y de extraer las semillas después de ser secadas, es por ello que para realizar la carga de las semillas en la torre de secado se lo hace mediante una pequeña tolva situada lateralmente a la torre de secado.

Así mismo en la Figura 33 se muestra como mediante un accesorio de la máquina y una compuerta diseñada en el codo HG se facilita la recolección de los granos de café secados. De esta manera se puede demostrar el armado del secador de granos de café por fluidización, y en la Figura 34 se muestra el ensamble total del secador de granos de café por fluidización.



**Figura 34. Secador de Lecho Fluidizado**

Es importante explicar que para cuando se desea extraer el café del secador se lo hace mediante una compuerta que se encuentra debajo de la torre de secado exactamente en el codo HG como se aprecia en la Figura 33 y con ayuda del utensilio que se encuentra encima de la caja de control se puede extraer con facilidad el café.



**Figura 35.** Flujograma de operación

Se le acoplo cuatro llantas a la máquina con la finalidad de que la movilización sea mucho más sencilla.

Cabe recalcar la forma de operar de la máquina y se lo explicará por medio de un flujograma que se lo puede estudiar mediante la Figura 35.

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

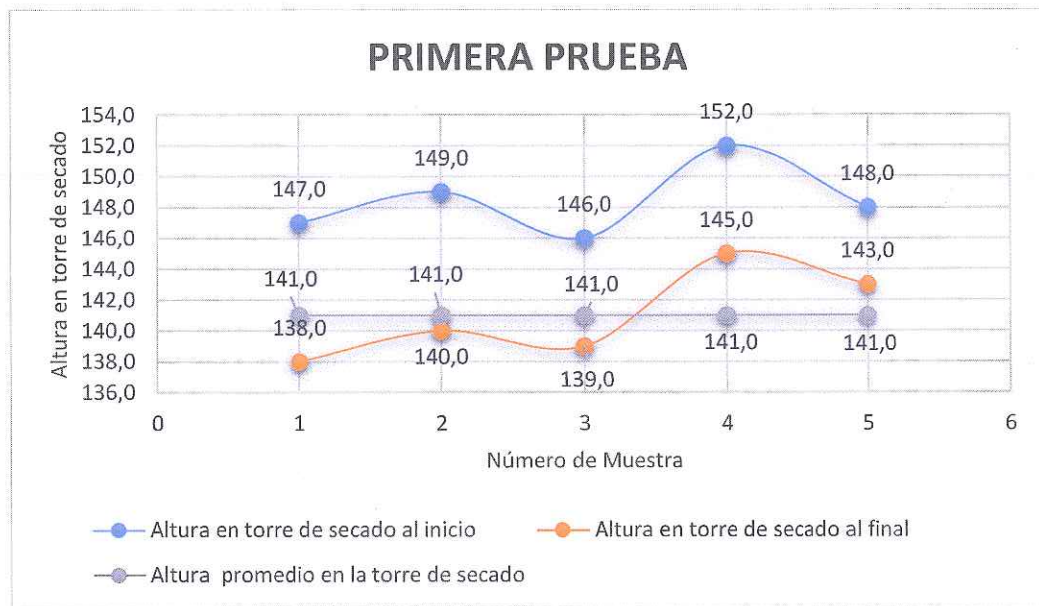
### 5.1 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO

Para el análisis del funcionamiento es importante detallar el comportamiento del grano de café sometido a un mismo periodo de tiempo el cual para el caso de la prueba No 1 será de 45 minutos a 60 °C y para la prueba No 2 es a 70 °C y en el mismo tiempo que la prueba 1

**Tabla 19** Comparación de alturas a 60 °C

PRIMERA PRUEBA									
Secado por 45 min a 60 °C aproximadamente									
Número de Muestra	Peso	Tiempo	Temperatura Final	Altura en torre de secado al inicio	Altura en torre de secado al final	Altura prom en la torre de secado	Diferencia entre alturas	Diferencia de la mayor altura y menor altura de las muestras	Eficiencia
	Kg	min	°C	mm	mm	mm	mm	mm	%
Muestra No 1	1,0	45	61,0	147,0	138,0	141,0	9,0	14,0	64
Muestra No 2	1,0	45	59,0	149,0	140,0	141,0	9,0	14,0	64
Muestra No 3	1,0	45	58,0	146,0	139,0	141,0	7,0	14,0	50
Muestra No 4	1,0	45	61,0	152,0	145,0	141,0	7,0	14,0	50
Muestra No 5	1,0	45	59,0	148,0	143,0	141,0	5,0	14,0	36
<b>Total</b>	1,0	45	59,6	148,4	141,0				

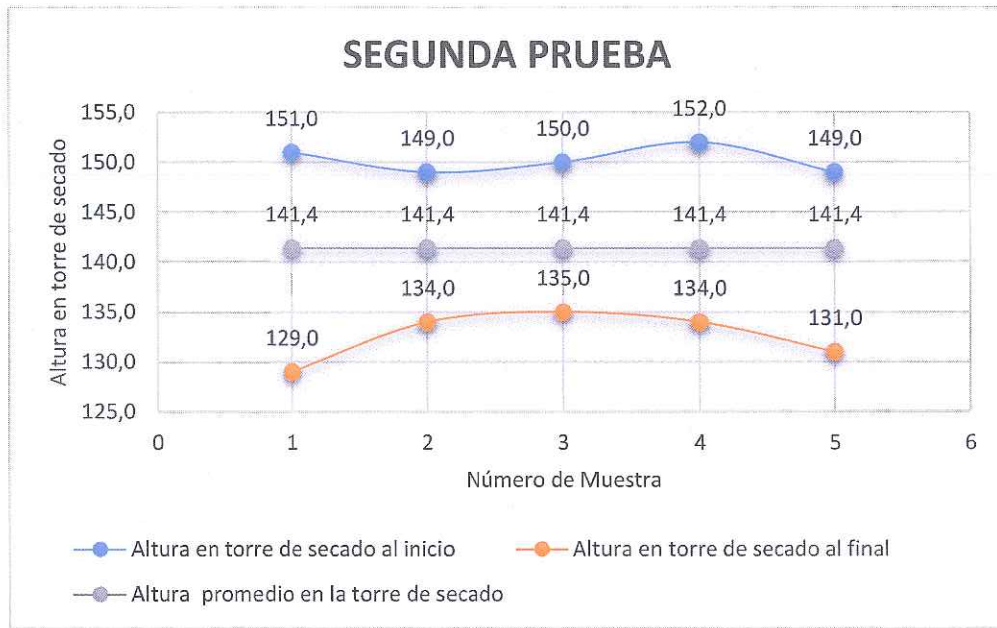




**Figura 36.** Comparación de alturas a 60 °C

**Tabla 20** Comparación de alturas a 70 °C

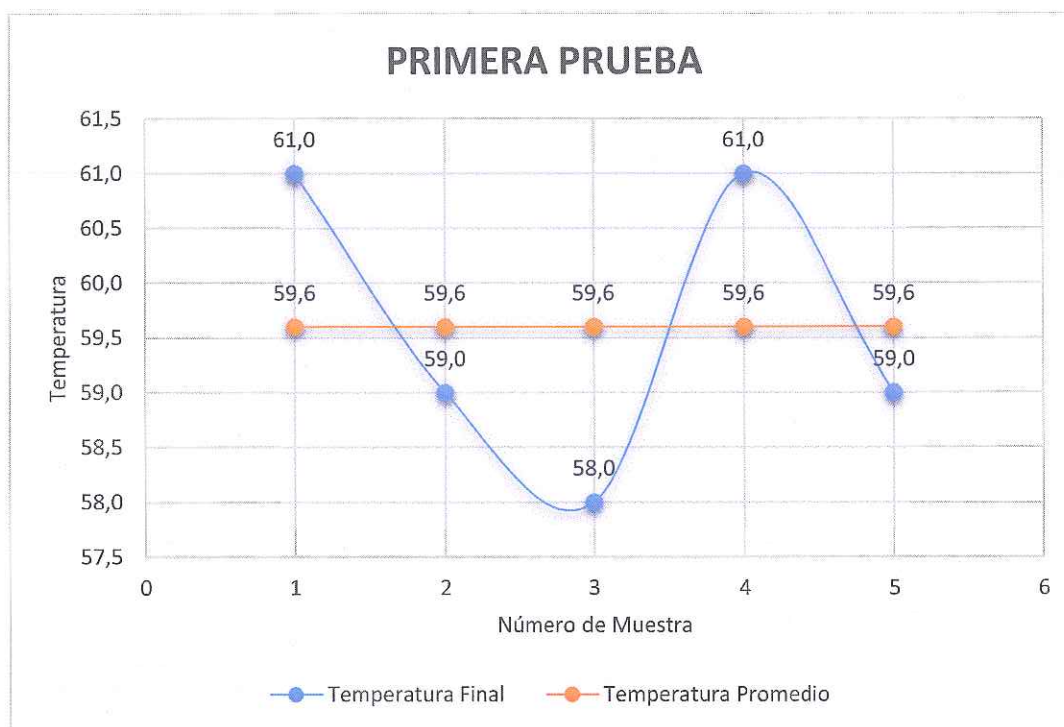
SEGUNDA PRUEBA									
Secado por 45 min a 70 °C aproximadamente									
Número de Muestra	Peso	Tiempo	Temperatura Final	Altura en torre de secado al inicio	Altura en torre de secado al final	Altura prom en la torre de secado	Diferencia entre alturas	Diferencia de la mayor altura y menor altura de las muestras	Eficiencia
	Kg	min	°C	mm	mm	mm	mm	mm	%
Muestra No 1	1,0	45	72,0	151,0	131,0	142,0	20,0	21,0	95
Muestra No 2	1,0	45	68,0	148,0	134,0	142,0	14,0	21,0	67
Muestra No 3	1,0	45	70,0	150,0	136,0	142,0	14,0	21,0	67
Muestra No 4	1,0	45	71,0	152,0	134,0	142,0	18,0	21,0	86
Muestra No 5	1,0	45	69,0	149,0	135,0	142,0	14,0	21,0	67
<b>Total</b>	1,0	45	70,0	150,0	134,0	142,0			



**Figura 37.** Comparación de alturas a 70 °C

**Tabla 21** Comparación de temperaturas a 60 °C

PRIMERA PRUEBA							
Secado por 45 min a 60 °C aproximadamente							
Número de Muestra	Peso	Tiempo	Temperatura Final	Temperatura Promedio	Altura en torre de secado al inicio	Altura en torre de secado al final	Altura promedio en la torre de secado
	Kg	min	°C	°C	mm	mm	mm
Muestra No 1	1	45	61,0	59,6	147,0	138,0	141,0
Muestra No 2	1	45	59,0	59,6	149,0	140,0	141,0
Muestra No 3	1	45	58,0	59,6	146,0	139,0	141,0
Muestra No 4	1	45	61,0	59,6	152,0	145,0	141,0
Muestra No 5	1	45	59,0	59,6	148,0	143,0	141,0
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>59,6</b>		<b>148,4</b>	<b>141,0</b>	<b>141,0</b>



**Figura 38.** Comparación de temperaturas a 60 °C

**Tabla 22** Comparación de temperaturas a 70 °C

### SEGUNDA PRUEBA

**Secado por 45 min a 70 °C aproximadamente**

Número de Muestra	Peso	Tiempo	Temperatura Final	Temperatura Promedio	Altura en torre de secado al inicio	Altura en torre de secado al	Altura prom en la torre de secado
	Kg	min	°C	°C	mm	mm	mm
<b>Muestra No 1</b>	1	45	72,0	70,0	151,0	129,0	141,4
<b>Muestra No 2</b>	1	45	68,0	70,0	149,0	134,0	141,4
<b>Muestra No 3</b>	1	45	70,0	70,0	150,0	135,0	141,4
<b>Muestra No 4</b>	1	45	71,0	70,0	152,0	134,0	141,4
<b>Muestra No 5</b>	1	45	69,0	70,0	149,0	131,0	141,4
<b>Total</b>	1	45	70,0		150,2	132,6	141,4

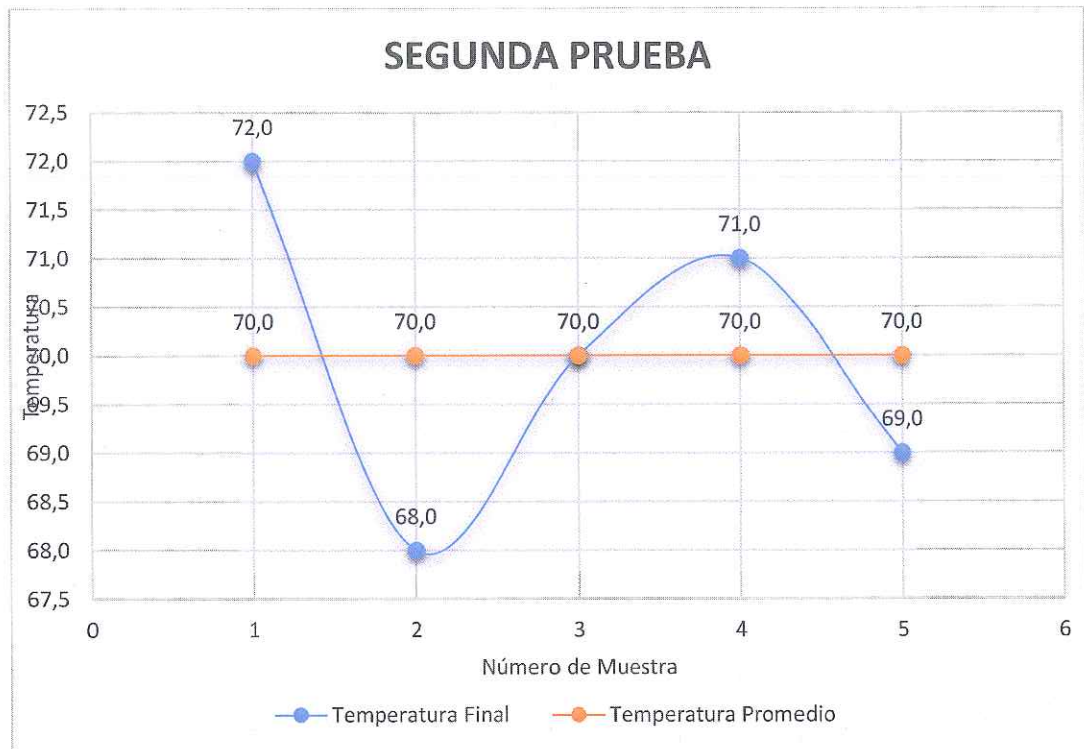
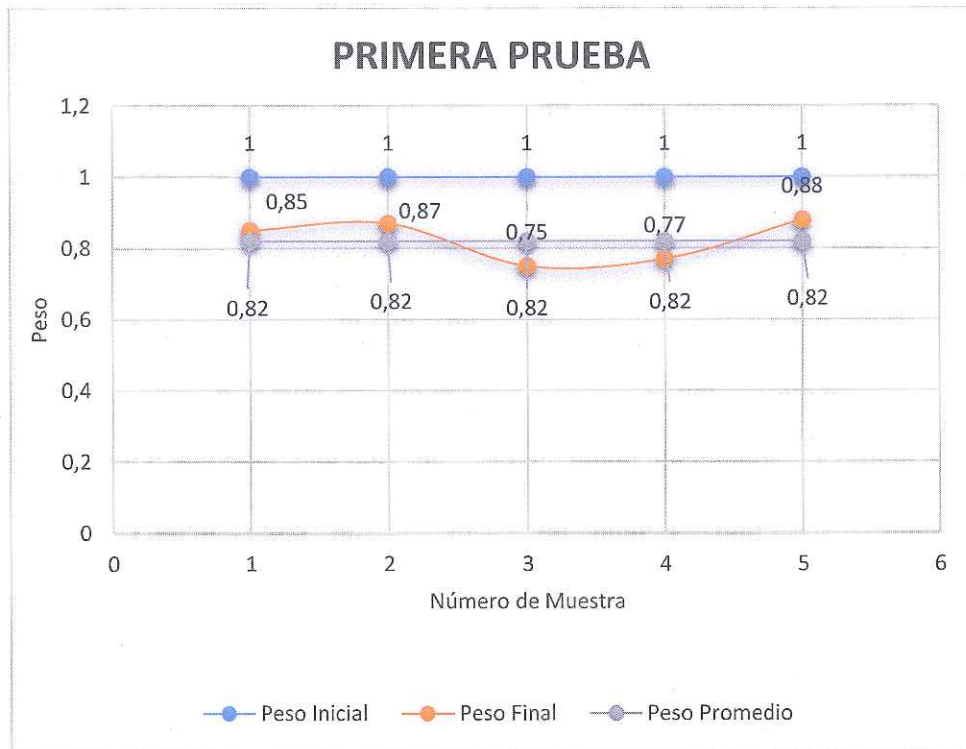


Figura 39. Comparación de temperaturas a 70 °C

Tabla 23 Comparación de pesos a 60 °C

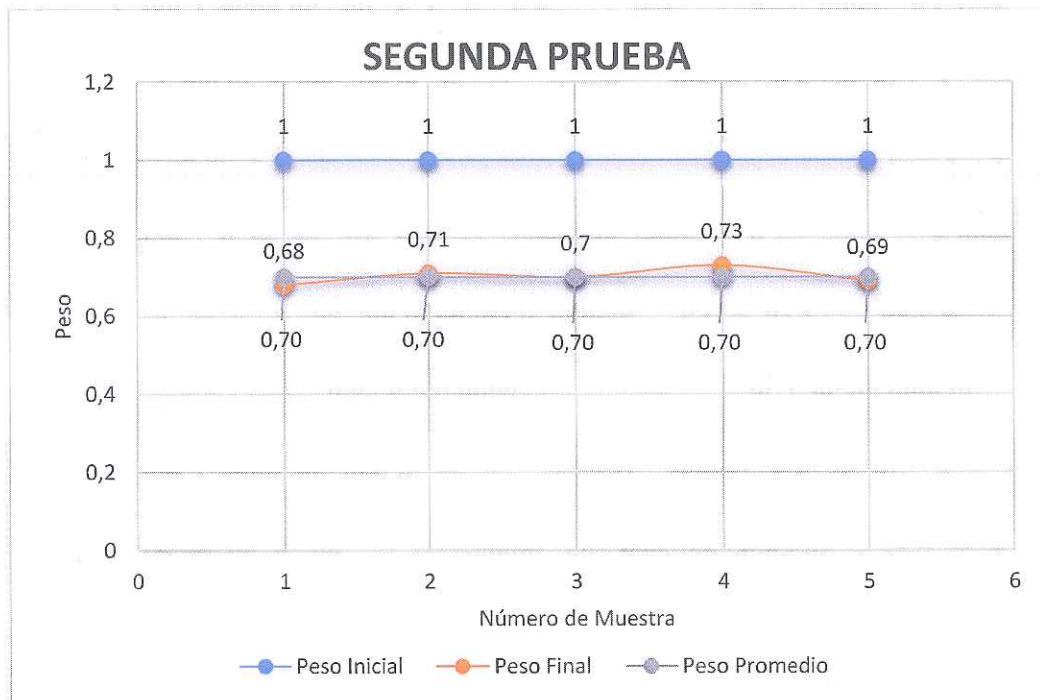
PRIMERA PRUEBA							
Secado por 45 min a 60 °C aproximadamente							
Número de Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Peso Promedio	Tiempo	Humedad Relativa	Humedad Promedio	Velocidad
	Kg	Kg	Kg	min	%	%	m/s
Muestra No 1	1	0,85	0,82	45	85,0%	82,4%	7,5
Muestra No 2	1	0,87	0,82	45	87,0%	82,4%	7,5
Muestra No 3	1	0,75	0,82	45	75,0%	82,4%	7,5
Muestra No 4	1	0,77	0,82	45	77,0%	82,4%	7,5
Muestra No 5	1	0,88	0,82	45	88,0%	82,4%	7,5
<b>Total</b>	1,00	0,82		45	82,4%		7,5



**Figura 40.** Comparación de pesos 60 °C

**Tabla 24** Comparación de pesos a 70 °C

SEGUNDA PRUEBA							
Secado por 45 min a 70 °C aproximadamente							
Número de Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Peso Promedio	Tiempo	Humedad Relativa	Humedad Promedio	Velocidad
	Kg	Kg	Kg	min	%	%	m/s
Muestra No 1	1	0,68	0,70	45	68,0%	70,2%	7,5
Muestra No 2	1	0,71	0,70	45	71,0%	70,2%	7,5
Muestra No 3	1	0,7	0,70	45	70,0%	70,2%	7,5
Muestra No 4	1	0,73	0,70	45	73,0%	70,2%	7,5
Muestra No 5	1	0,69	0,70	45	69,0%	70,2%	7,5
<b>Total</b>	<b>1,00</b>	<b>0,70</b>		<b>45</b>	<b>70,2%</b>		<b>7,5</b>



**Figura 41.** Comparación de pesos 70 °C

**Tabla 25** Comparación de humedad relativa a 60°C.

PRIMERA PRUEBA							
Secado por 45 min a 60 °C aproximadamente							
Número de Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Peso Promedio	Tiempo	Humedad Relativa	Humedad Promedio	Velocidad
	Kg	Kg	Kg	min	%	%	m/s
Muestra No 1	1	0,85	0,86	45	85,0%	82,4%	7,5
Muestra No 2	1	0,87	0,86	45	87,0%	82,4%	7,5
Muestra No 3	1	0,75	0,86	45	75,0%	82,4%	7,5
Muestra No 4	1	0,77	0,86	45	77,0%	82,4%	7,5
Muestra No 5	1	0,88	0,86	45	88,0%	82,4%	7,5
<b>Total</b>	1,00	0,82		45	82,4%		7,5

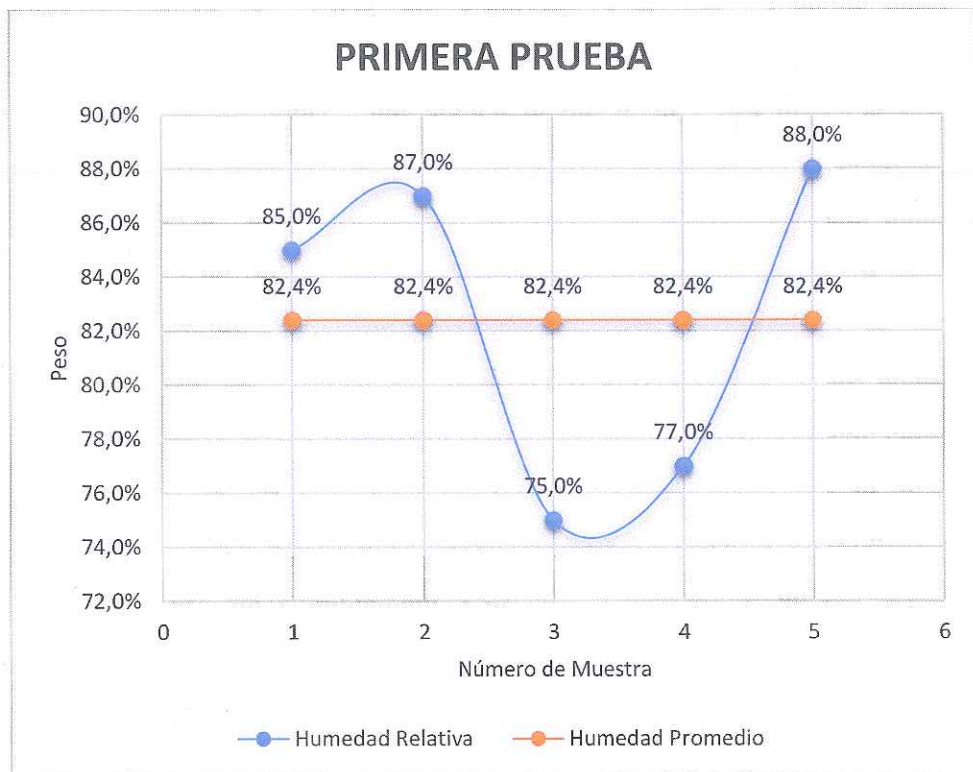


Figura 42. Comparación de humedad relativa a 60 °C

Tabla 26 Comparación de humedad relativa a 70°C.

SEGUNDA PRUEBA							
Secado por 45 min a 70 °C aproximadamente							
Número de Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Peso Promedio	Tiempo	Humedad Relativa	Humedad Promedio	Velocidad
	Kg	Kg	Kg	min	%	%	m/s
Muestra No 1	1	0,68	0,70	45	68,0%	70,2%	7,5
Muestra No 2	1	0,71	0,70	45	71,0%	70,2%	7,5
Muestra No 3	1	0,7	0,70	45	70,0%	70,2%	7,5
Muestra No 4	1	0,73	0,70	45	73,0%	70,2%	7,5
Muestra No 5	1	0,69	0,70	45	69,0%	70,2%	7,5
<b>Total</b>	1,00	0,70		45	70,2%		7,5

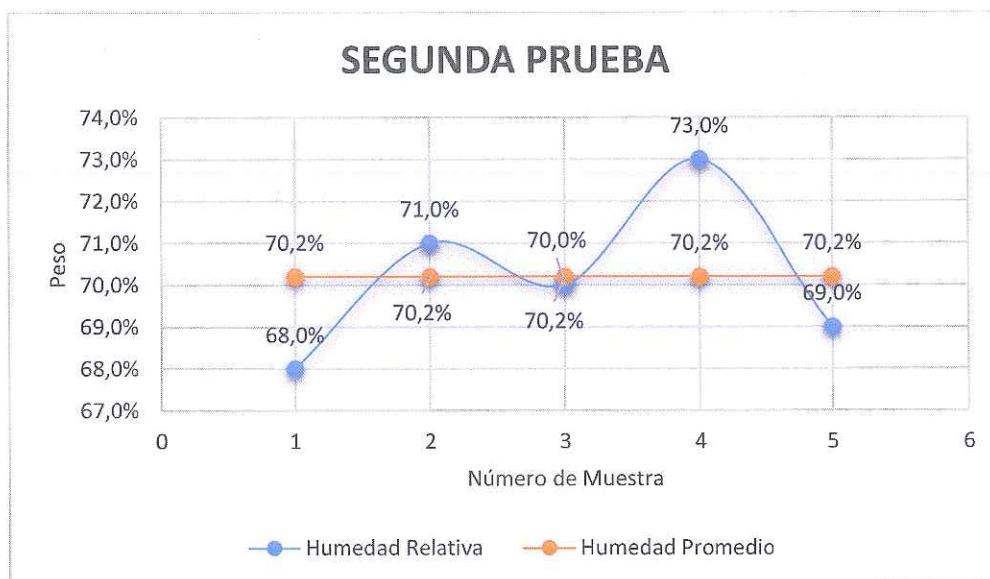


Figura 43. Comparación de humedad relativa a 70 °C

Tabla 27 Comparación de eficiencia a 60 °C.

PRIMERA PRUEBA										
Secado por 45 min a 60 °C aproximadamente										
Número de Muestra	Peso	Tiempo	Temperatura Final	Altura en torre de secado al inicio	Altura en torre de secado al final	Altura promedio en la torre de secado	Diferencia entre	Diferencia de la mayor altura y menor altura de las	Eficiencia	Eficiencia Promedio
	Kg	min	°C	mm	mm	mm			%	%
Muestra No 1	1	45	61,0	147,0	138,0	144,7	9,0	14,0	64	53
Muestra No 2	1	45	59,0	149,0	140,0	144,7	9,0	14,0	64	53
Muestra No 3	1	45	58,0	146,0	139,0	144,7	7,0	14,0	50	53
Muestra No 4	1	45	61,0	152,0	145,0	144,7	7,0	14,0	50	53
Muestra No 5	1	45	59,0	148,0	143,0	144,7	5,0	14,0	36	53
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>59,6</b>	<b>148,4</b>	<b>141,0</b>	<b>144,7</b>			<b>53</b>	



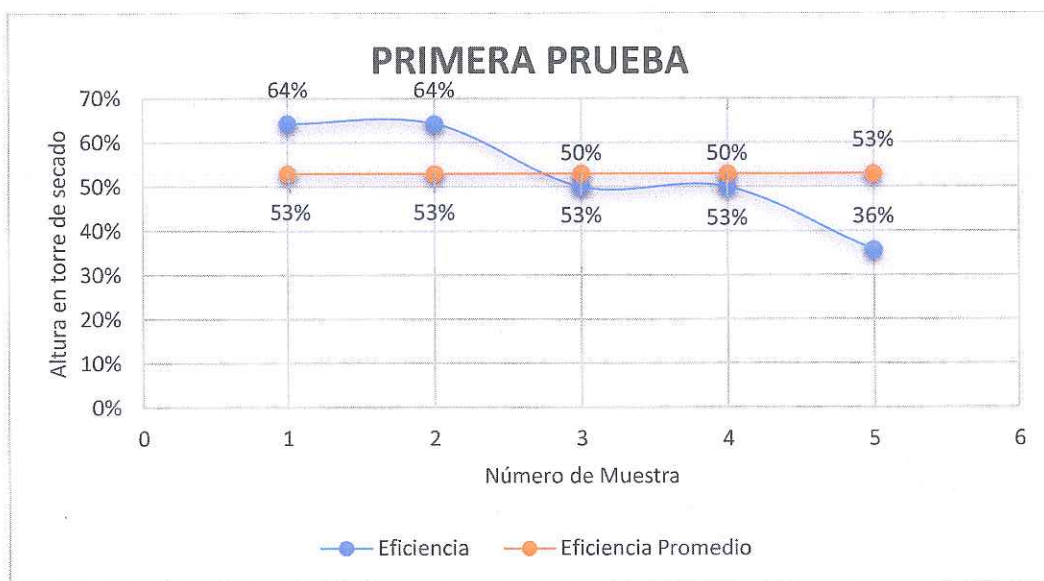


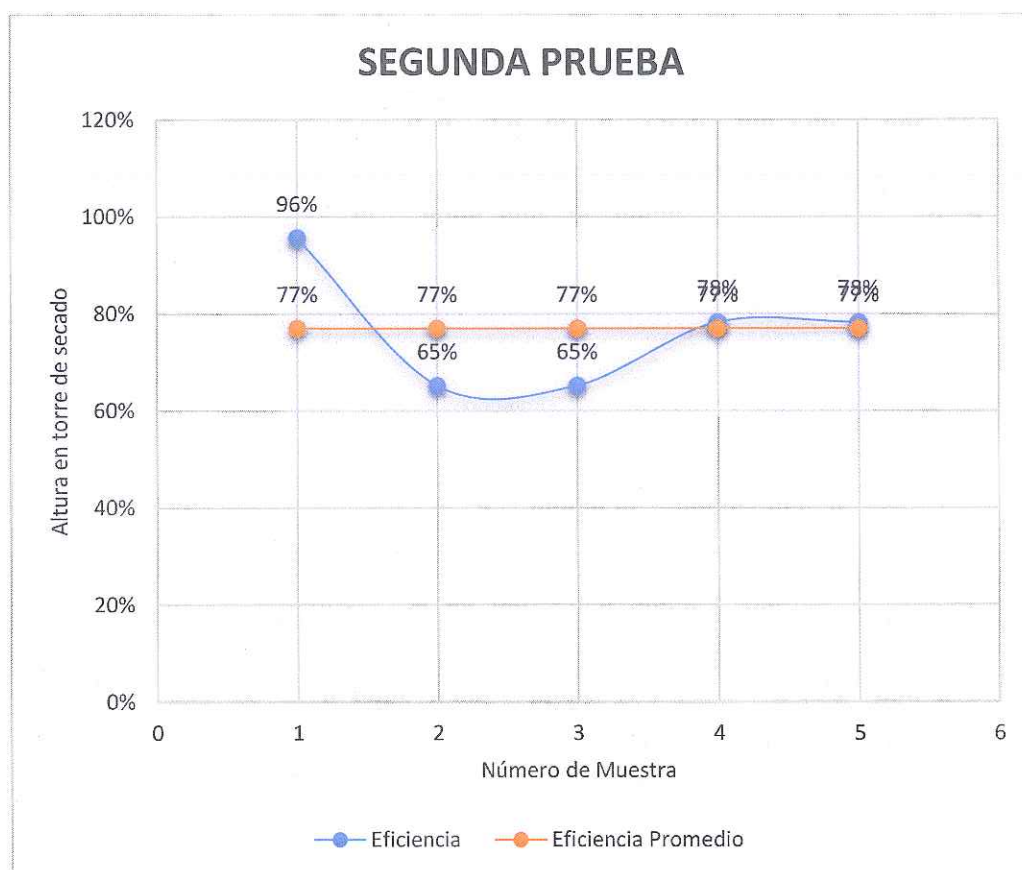
Figura 44. Comparación de eficiencia a 60 °C

Tabla 28 Comparación de eficiencia a 70 °C.

### SEGUNDA PRUEBA

Secado por 45 min a 70 °C aproximadamente

Número de Muestra	Peso	Tiempo	Temperatura Final	Altura en torre de secado al inicio	Altura en torre de secado al final	Altura prom en la torre de secado	Diferencia entre alturas	Dif de la mayor altura y menor altura de las muestras	Eficiencia	Eficiencia Promedio
	Kg	min	°C	mm	mm	mm			%	%
Muestra No 1	1	45	72,0	151,0	129,0	141,4	22,0	23,0	96	77
Muestra No 2	1	45	68,0	148,0	134,0	142,0	15,0	23,0	65	77
Muestra No 3	1	45	70,0	150,0	135,0	141,4	15,0	23,0	65	77
Muestra No 4	1	45	71,0	152,0	134,0	141,4	18,0	23,0	78	77
Muestra No 5	1	45	69,0	149,0	131,0	141,4	18,0	23,0	78	77
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>70,0</b>	<b>150,0</b>	<b>132,6</b>	<b>141,4</b>			<b>77</b>	



**Figura 45.** Comparación de eficiencia a 70 °C

Se puede verificar mediante las dos pruebas realizadas que sin afectar el grano de café se puede llevar a cabo las pruebas a 60°C y 70°C que son los rangos máximos y mínimos a secarse.

Cabe recalcar que al estar sometido a dichas temperaturas por un intervalo de tiempo donde las pruebas duraron 45 min como tiempo óptimo para el secado, pues al realizar pruebas con mayor tiempo se pudo observar que el grano de café quedaba demasiado seco, justamente por este motivo es imperativo denotar que el café mantenga intacta sus propiedades.

Para el análisis de resultados se tomaron en consideración diferentes parámetros que son influyentes dentro del proceso, dichas variables son:

- La temperatura
- La humedad relativa
- La diferencia de pesos
- La eficiencia de la máquina

Como resultado de las pruebas llevadas a cabo se verifica que en el proceso de secado de granos de café, es mucho más eficiente la máquina trabajando a 70 °C.

La humedad relativa existente en la cámara de secado en la primera prueba tiene un promedio del 82,4% (Tabla 25 y Figura 42) mientras que en la segunda prueba refleja un valor del 70,2% (Tabla 26 y Figura 43)

Sin embargo es importante denotar que al momento de hacer una comparación entre las alturas alcanzadas antes y después del secado en ambas pruebas es casi imperceptible si comparamos promedios (Tabla 19, 20 y Figura 36, 37).

Sin embargo al verificar cuidadosamente los valores de las muestras experimentales dentro de la segunda prueba se expone que existe una variación mucho mayor en la segunda prueba vs la primera prueba.

Por esta última razón es que existe mayor eficiencia en el funcionamiento de la máquina operando a mayor temperatura y eso es claramente visible al comparar la información de las Tabla 21, 22 y Figura 38, 39.

Otro punto de vista a considerar en el funcionamiento y pruebas es que un mejor producto se obtiene homogenizando las semillas, esto se lleva a cabo mediante la selección de los mejores granos cuando se los lava pues los granos desechables son aquellos que con facilidad flotan mientras que los que se hunden son los de mejor calidad.

## **5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO**

Para el análisis económico es necesario contemplar dos puntos en consideración el costo de la máquina y el consumo eléctrico mensualmente. En la Tabla 29 se determina el costo de fabricación de la máquina, donde se detalla mediante una lista de materiales los componentes, la cantidad, la unidad y un valor unitario referencial, de la inversión que se llevará a cabo al construir el prototipo.

**Tabla 29. Análisis económico.**

ÍTEM	COMPONENTE	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR	TOTAL
1	Blower	1	u	400	400
2	Perfil rectangular	6	m	6	36
3	Planchas de acrílico 2400 x 1800 x 4 mm	2	u	45	90
4	Tubo PVCD de 200 mm	2	m	8	16
5	Panel de control con botonera de seguridad	1	u	150	150
6	Plancha de duralón	1	u	100	100
7	Neplo HG de 50 mm	1	u	25	25
8	Neplo HG de 100 mm	1	u	40	40
9	Bushing HG de 100 a 75 mm	1	u	35	35
10	Bushing HG de 75 a 50 mm	1	u	14	14
11	Resistencia térmica	3	m	60	180
12	Pernos cabeza plana con tuerca	24	u	1	24
13	Tubo PVCP de 50 mm	3	m	2,75	8,25
14	Codo PVCP de 50 mm a 45	4	u	2,5	10
15	Universal PVCP de 50 mm	1	u	3	3
16	Silicona de alta temperatura	1	u	8	8
17	Silicona normal	1	u	3,5	3,5
18	Llantas de 75 mm	4	u	8	32
19	Pintura	0,25	u	20	5
20	Varios(cables, luces, selectores, duralón, tornillos	1	u	300	300
			<b>TOTAL</b>		<b>1479,75</b>

Como se puede observar el costo es relativamente asequible aún para el medio donde fue construida.

Ahora se debe tomar en cuenta como segundo punto consumo eléctrico, para ello se tiene que retomar el valor de consumo energía eléctrica que anteriormente se obtuvo y era de:

$$\text{Consumo Total} = 3,12 \text{ Kw.h}$$

Si la máquina trabaja 8 horas al día por 20 días al mes se tendrá un consumo mensual de:

$$\text{Consumo Total Mensual} = 499,2 \text{ Kw.h}$$

En el Ecuador el valor de Kilovatio Hora tiene un costo de \$0,086 (Quito, 2016), lo que quiere decir que por el consumo de la máquina al mes será de \$42, 93, que es mucho más barato que pagar la mano de obra de una persona que en la actualidad su sueldo básico se sitúa en los \$380,00

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El proceso de secado por fluidización incrementó la cantidad de producción, ya que en el medio el productor logra secar 1 Kg de su producto entre 9 y 12 horas distribuida entre 3 y 4 días, y ahora puede procesar la misma cantidad en 1 hora en 1 día.
- El productor de café ya no se preocupará por el clima del sector para poder seguir con su producción.
- El productor de café ya podrá empezar a vender a clientes finales y no dependerá de mayoristas para poder vender su producto, pues al ahorrar tiempo podrá acabar el ciclo de producción del café.
- El productor al momento de interactuar directamente en el mercado puede manejar aún mejor el precio del mismo y evitar así la especulación
- El proyecto tiene un panel de control con focos de avisos y una pantalla de fácil configuración para configurar la temperatura de secado, todo el panel de control es fácil de usar y de capacitar al personal para operar.

### RECOMENDACIONES

- Para que esta máquina pueda operar de excelente manera se necesita ser instalada en un lugar libre de humedad (aproximadamente entre 50% y 60% de humedad) y al mismo tiempo libre de abundante luz natural y de excesiva luz artificial, así de esta forma se evitara el deterioro de la máquina y de la materia prima, estas precauciones se las debe considerar a lo largo de todo el proceso (antes, durante y posterior al proceso).
- Se deberá realizar un cronograma de mantenimiento, este último en mención debe ir ligado al proceso y la cantidad de uso que se le dé a la máquina, de esta manera se podrá prolongar la vida útil de cada pieza y ensamble y por ende con mayor razón la vida del proyecto.

- Se recomienda que como proyecto adicional a este se pueda emplear una extrusora o una molienda, puesto que la torre de secado se la puede emplear para más de un producto y con los complementos anteriormente citados empezar una producción de menor escala (empresas tipo pymes) hasta lograr ser una empresa totalmente consolidada.
- El proyecto puede acoplarse con procesos de secados de diferentes tipos de semillas, o puede ser utilizado para lograr alcanzar una temperatura idónea que permitan una mayor extracción de aceite en los diferentes tipos de proceso de extracción.



## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

- AGA, L. G. (1904). AGA Ecuador. Obtenido de AGA Ecuador: <http://www.aga.com/international/web/lg/ec/>
- Agricultura, D. d. (1978). Depósitos de documentos de la FAO. Obtenido de Depósitos de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/>
- Arraz, A. C. (2011). Tecnología Láser. Barcelona: marcombo.
- Blower, M. (2011). Curso básico de selección de ventiladores. En m. blower, seleccion de ventiladores 1000 (págs. 5, 6).
- Botanical-online. (1999-2015). Obtenido de Botanical-online: <http://www.botanical-online.com/alcaloidescafe.htm>
- Castillo, J. (1959). CENICAFE. Obtenido de CENICAFE: <http://www.cenicafe.org/es>
- Coffepedia. (s.f.). Official Coffe Partner. Obtenido de Official Coffe Partner: <http://www.illy.com>
- Corporation, N. (2001). NARCHEM CORPORATION. Obtenido de NARCHEM CORPORATION: <http://www.narchem.com/>
- Cortando espuma flex. (s.f.). Recuperado el 27 de agosto de 2014, de <http://es.how.com/cortar-espuma-de-poliestireno>
- Creativas Ex. (1 de 11 de 2013). Recuperado el 2 de 06 de 2014, de <http://publicidadvip.blogspot.com/>
- D&B. (1836). dethlefsen y balk. Obtenido de dethlefsen y balk: [www.dethlefsen-balk.de](http://www.dethlefsen-balk.de)
- Dalpasquale, V. A., Marcal de Queiroz, D., Marques Pereira, J. A., & Sinicio, R. (1991). Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/x5058S/x5058S00.htm>

- Donate, A. H. (2012). *Electronica Aplicada*. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Ecuador, P. (2012). *Análisis Sectorial del Cafe*. Obtenido de *Análisis Sectorial del Cafe*: <http://www.proecuador.gob.ec/>
- FAO, Viale delle Terme di Caracalla. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Obtenido de *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*: <http://www.fao.org>
- FCE. (s.f.). *Poliestireno Expandido*. Recuperado el 27 de agosto de 2014, de <http://www.ifuap.buap.mx/~lilia/UNICEL.pdf>
- García, I. A. (s.f.). *Anacafé*. Obtenido de *Anacafé*: [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Varietades\\_de\\_cafe](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Varietades_de_cafe)
- Hashemi, W. F. (2006). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Mexico D.F.
- Hernandez. (1995). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <http://caterina.udlap.mx>
- Internacional, C. d. (2011). *La Guia del Cafe*. Obtenido de *La Guia del Cafe*: [www.laguiadelcafe.org](http://www.laguiadelcafe.org)
- L.Boylestad, R. (2005). *Introducción al análisis de circuitos*. México: Pearson Education.
- La Guia del Café. (s.f.). Obtenido de *La Guia del Café*: [www.laguiadelcafe.org](http://www.laguiadelcafe.org)
- Library, S. E. (Junio de 2005). *scielo argentina*. Obtenido de *scielo argentina*: [www.scielo.org.ar](http://www.scielo.org.ar)
- Machinery, P. (1997). *Tablet Press*. Obtenido de *Tablet Press*: <http://www.tabletpress.es/>
- Mandado, E. (2000). *Instrumentación Electrónica*. Barcelona: Marcombo S.A.

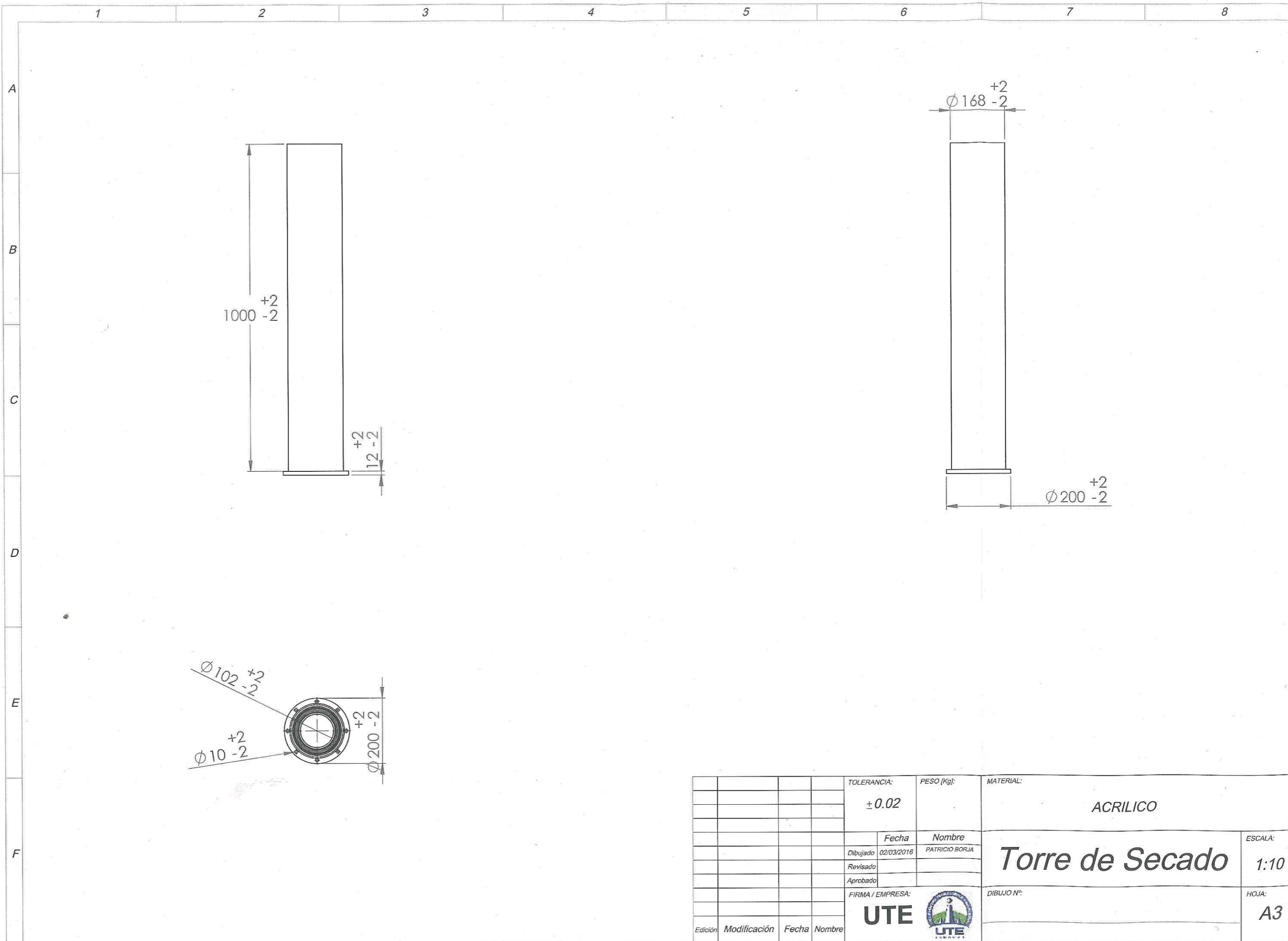
- Maria, J. A. (2012). Diseño y construcción de un secador de grano por fluidización. Quito.
- Martínez, R. (s.f.). Ciencia con Automatización. Recuperado el 15 de junio de 2014, de Scielo: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642004000200016&lang=pt](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000200016&lang=pt)
- McCabe, W. L. (1991). Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Cuarta edición: McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U España.
- Mecatrónica. (s.f.). Recuperado el 4 de agosto de 2014, de Control Numerico computarizado: <http://www.mecatronic.co/2012/08/cnc-control-numeric-computarizado.html>
- Molins, J. D. (s.f.). infoalimentacion. Obtenido de infoalimentacion: <http://www.infoalimentacion.com>
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: PEARSON Education.
- Overby, A. (2011). CNC MACHINING. Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Patricio Aguirre, B. S. (2008). Repositorio Espe. Obtenido de Repositorio Espe: <http://repositorio.espe.edu.ec/>
- Pérez, R. L. (1990). Secadores Industriales. Obtenido de <http://www.higienizarr.net/>
- Peter, S. (2005). CNC. En S. Peter, CNC Programming Handbook (pág. 32). New York: Industrial Pres Inc.
- Quito, E. E. (2016). Información del Consumidor. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Raimond. (2005). Mexico.
- Repositorio. (2001). Wetlay. Obtenido de Wetlay: [www.wetlay.vt.edu](http://www.wetlay.vt.edu)

- Richard, S. (1998). Analsis of CAD/CAM. Editorial Prentice Hall.
- Robert L. Mott, P. E. (2006). Diseño de elementos de máquinas. Mexico DF: Pearson.
- Rodriguez, P. (1974). Tecnología de la combustión en lecho fluidizado. En P. Rodriguez, Tecnología de la combustión en lecho fluidizado (pág. 203). Madrid.
- Sistemas Mecánicos GAES. (s.f.). Recuperado el 6 de junio de 2014, de Información Técnica: <http://www.grupogaes.com/wp-content/uploads/2013/11/CATALOGO-HUSILLOS-PDF-digital.pdf>
- Tendencia, A. (2010). Agrotends. Obtenido de Agrotends: [www.agrotends.br](http://www.agrotends.br)
- Teruel, F. C. (2008). Sistema de Fabricación de máquinas automatizadas. Mexico: marcombo.
- Textos Científicos. (2005). Recuperado el 27 de agosto de 2014, de <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>
- TOKI. (2015). X-TRONIX. Obtenido de X-TRONIX.
- Vance y Tecnología en Plásticos. (2010). Recuperado el 27 de agosto de 2014, de <http://www.avanceytec.com.mx/productos/plasticos/laminas-de-plastico/>

**ANEXOS**

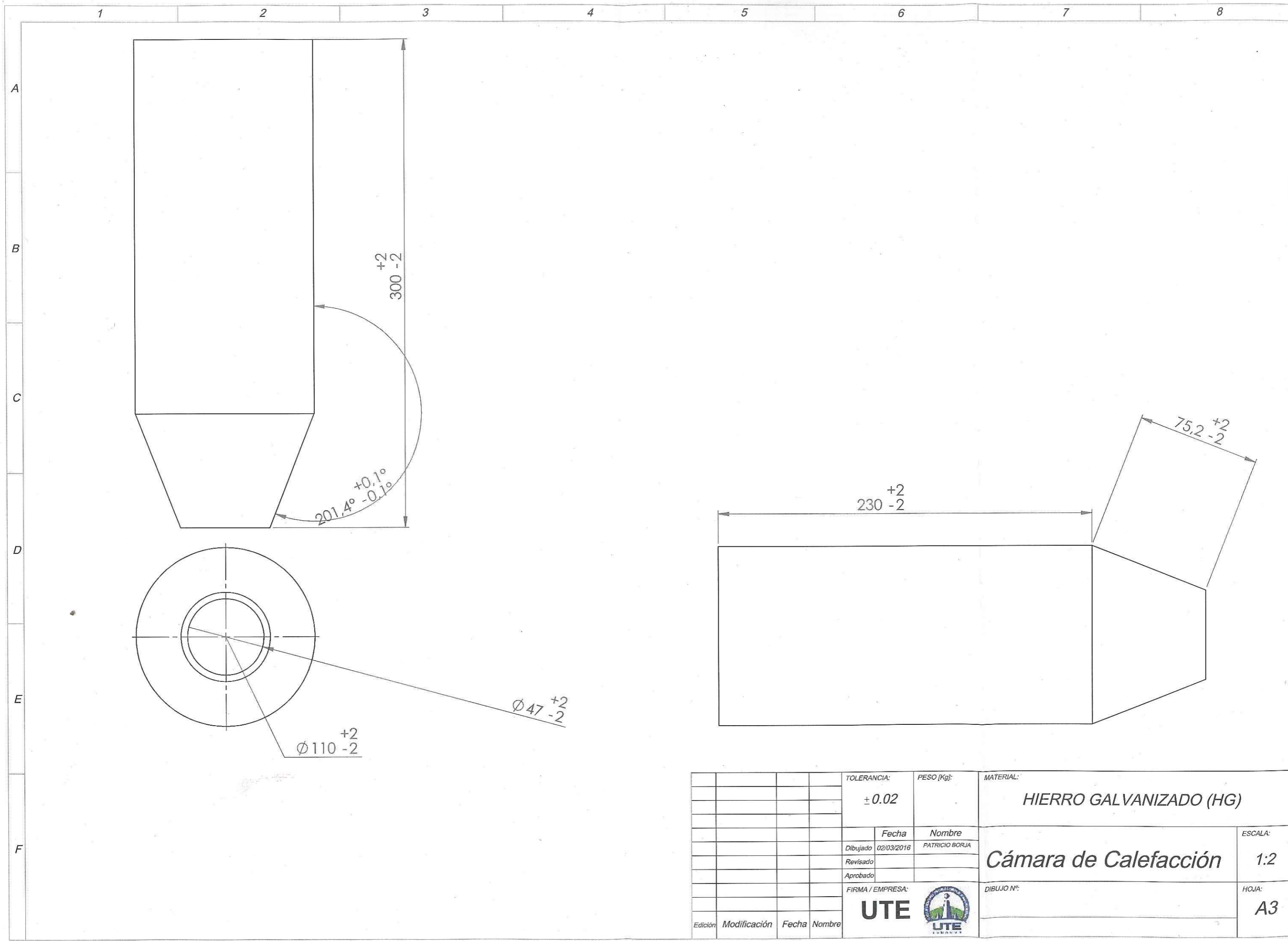
## **ANEXO 1**


### **PLANOS**

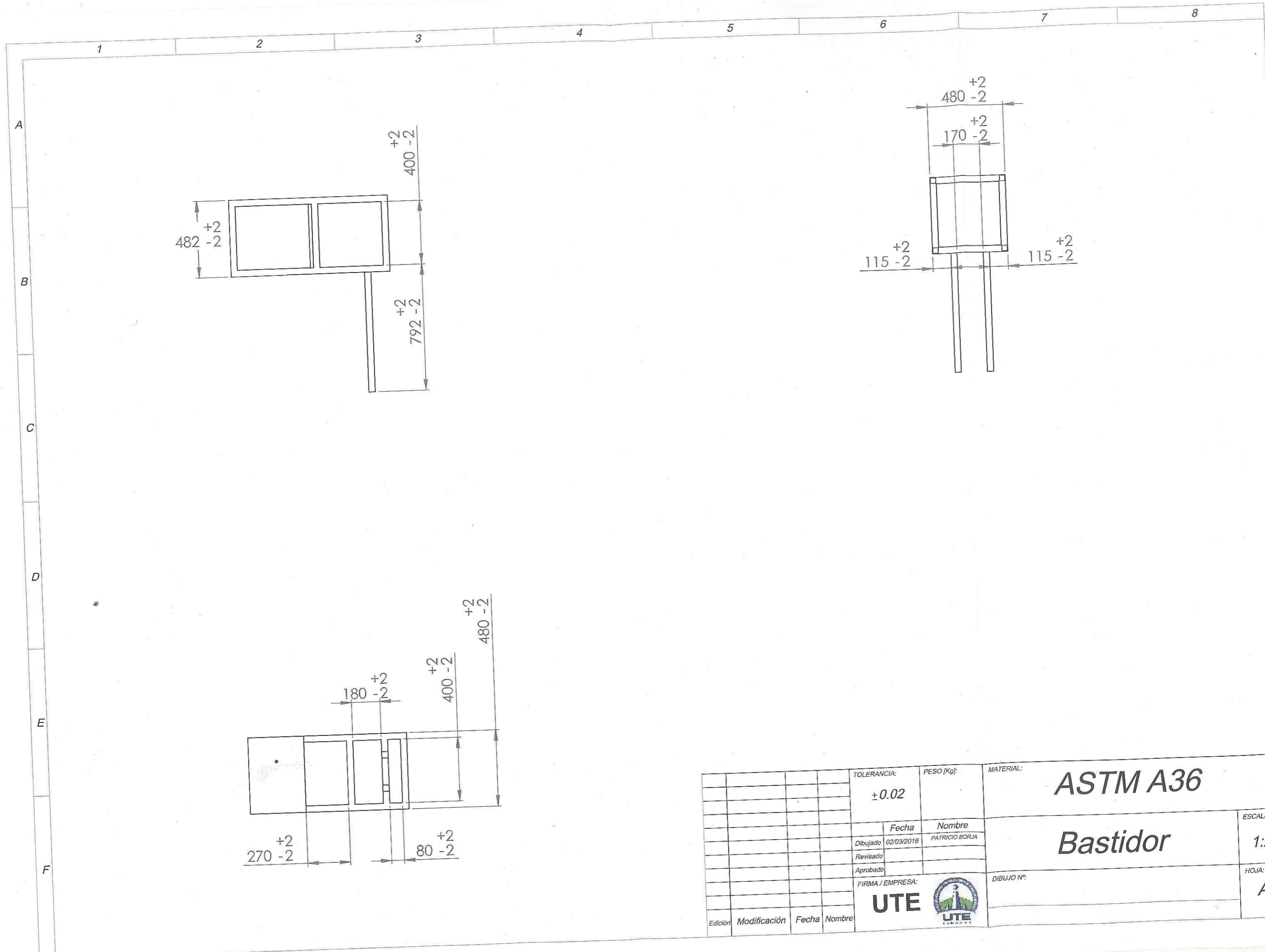


				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:	
				$\pm 0.02$		ACRILICO	
				Fecha	Nombre	ESCALA:	
				Dibujado 02/03/2016	PATRICIO BORJA	Torre de Secado	
				Revisado		1:10	
				Aprobado		HOJA:	
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	
				UTE		A3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

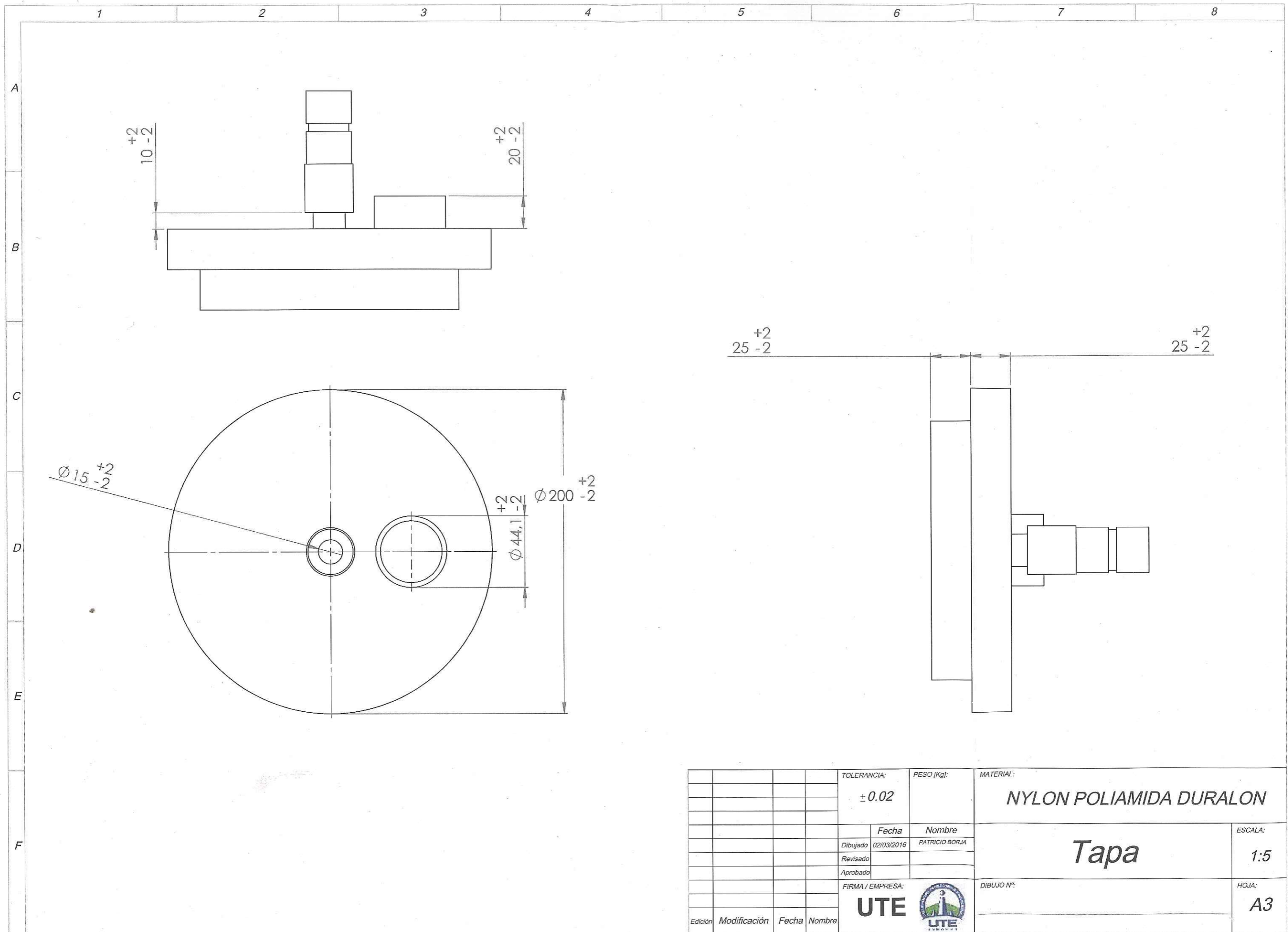





				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.02		HIERRO GALVANIZADO (HG)	
				Fecha	Nombre	ESCALA:	
				Dibujado 02/03/2016	PATRICIO BORJA	Cámara de Calefacción 1:2	
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:	DIBUJO Nº:		HOJA:
				<b>UTE</b>			<b>A3</b>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



TOLERANCIA:		PESO [Kg]:	MATERIAL:	
± 0.02			ASTM A36	
Fecha		Nombre		ESCALA:
Dibujado 02/03/2016		PATRICIO BORJA		1:20
Revisado				HOJA:
Aprobado				A3
FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:		
UTE				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				$\pm 0.02$		NYLON POLIAMIDA DURALON	
				Fecha	Nombre	<h1>Tapa</h1>	
				Dibujado 02/03/2016	PATRICIO BORJA		
				Revisado			
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	ESCALA:
							1:5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				HOJA:
							A3